

安全研究成果報告（案）
説明資料

断層破砕物質を用いた
断層の活動性評価手法に関する研究
事後評価 説明資料

令和2年4月

原子力規制庁長官官房技術基盤グループ

地震・津波研究部門

原子力規制部審査グループ

地震・津波審査部門

目次

1. 研究概要
 2. 研究期間を通じた主要成果
 3. まとめ
 4. 成果の活用について
 5. 成果の公表等
 6. 成果目標に対する達成状況
 7. 今後の展開
- 文献

1. 研究概要

1.1 背景

「敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド」では「将来活動する可能性のある断層等」が定義されている。また、「その認定に当たって、後期更新世（約12～13万年前）の地形面又は地層が欠如する等、後期更新世以降の活動性が明確に判断できない場合には、中期更新世以降（約40万年前以降）まで遡って地形、地質・地質構造及び応力場等を総合的に検討した上で活動性を評価すること」とされている。そのため、断層を含む地質構造全体の把握、応力場解析等に基づくテクトニクスの把握、断層の活動性の評価といった、巨視的視点から微視的視点に至る総合的な評価手法を構築することが重要である。

断層の活動年代は通常、断層の上部に堆積した地層の年代に基づき特定又は推定する（上載地層法）。しかし、地域によっては、そのような地層が欠如している等の理由により、上載地層法の適用が難しい場合があり、断層本体の性状や物質（断層破碎物質）から活動性を判断する必要がある。直接的な年代値を定量的に示すことができれば、上載地層の有無に関わらずに断層の活動性を効率的に評価できる。そのためには、断層の定量的な活動性評価手法に係る技術的根拠を明確にすることが必要であり、特に断層が最後に活動してからの年代が直接的に評価できるか否かの確認及びその条件を把握することが重要となる。一方、応力場の比較、鉱物脈の微細構造等に基づいた断層の定性的な活動性評価手法については、通常利用されている方法ではあるが、手法の有効性を確認しておくことが重要である。

1.2 目的

(1) 地球物理学的調査、深部ボーリング調査等に基づく地質構造の把握

① 下北半島横断深部構造探査及び深部ボーリング調査による統合解析

断層中部から深部にかけての地質構造を把握するため、堆積岩地域に卓越する逆断層型の断層を有する地域として、青森県下北半島東通周辺における断層群及び大陸棚外縁断層等を対象に、反射法及び屈折法地震探査を実施する。それにより、断層に関連する深部及び比較的浅部の地下構造、速度構造等を把握するための手法の適用性を検討する。

② 若狭地域における物理探査手法を用いた断層構造調査

断層浅部から断層中部にかけての地質構造を把握するため、硬質岩盤中の横ずれ断層を有する地域として、若狭地域における横ずれ断層を対象に、地質調査及び物理探査を実施する。それにより、硬質岩盤中の横ずれ断層の検出に関する物理探査手法の適用性を検討する。

③ 茨城北部地域における物理探査手法を用いた断層構造調査

海域と陸域とでは物理探査データの取得方法が異なることから、海陸境界域では断層の抽出が困難である。そこで、海域から陸域に断層が延伸していると推定される地域の一つである茨城県北部沿岸域を調査地域として選定し、近年開発された空中重力偏差法探査により、断層を抽出するための手法の適用性を検討する。

(2) 断層破碎物質を用いた断層の定量的な活動性評価手法の整備

① 野島断層における断層破碎物質を用いた直接的年代測定手法に関する調査・研究

1995年の兵庫県南部地震で活動した野島断層を対象として、ボーリング調査及びトレンチ調査により異なる深度の断層破碎物質を採取し、それらの断層の年代測定（ルミネッセンス年代測定法、ESR年代測定法及びK-Ar年代測定法）を実施する。それにより、深度増加に伴う摩擦発熱の増大が年代リセットに与える効果を確認することで、断層の直接的年代測定法の有効性について検証する。

② 高速摩擦実験による年代リセット条件の検証

断層運動により効率的に摩擦発熱が生じる環境を模擬して高速摩擦実験を行い、ルミネッセンス年代測定法が断層の直接的年代測定法として有効かどうかを検証するとともに、効率的に摩擦発熱が生じた場合に年代がリセットする深度を推定する。

(3) 断層破碎物質を用いた断層の定性的な活動性評価手法の整備

① 応力場の比較による断層の活動性評価に関する調査・研究

1995年の兵庫県南部地震で地表地震断層が確認された野島断層とその分岐断層である浅野断層において応力場の測定を行い、断層近傍の現在と過去の応力場を比較して断層の活動性を把握する。

② 中央構造線における鉍物脈の微細構造及び化学分析に基づく断層の活動性評価に関する調査・研究

愛媛県西条市湯谷口において中央構造線の断層露頭観察及びボーリング調査により断層破碎物質を採取し、通常実施されている微細構造観察及び鉍物脈の化学分析の結果を用いて、鉍物脈を用いた断層の活動性評価の事例を蓄積する。

1.3 全体行程

本研究は平成25年度から令和元年度にかけて実施したものである。全体行程を図1に示す。

	実施内容	平成25年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	平成31年度 令和元年度
	(1) 地球物理学的調査、深部ボーリング調査等に基づく地質構造の把握							
本日の説明	① 下北半島横断深部構造探査及び深部ボーリング調査による統合解析							
	② 若狭地域における物理探査手法を用いた断層構造調査							
	③ 茨城北部地域における物理探査手法を用いた断層構造調査							
	(2) 断層破碎物質を用いた断層の定量的な活動性評価手法の整備							
本日の説明	① 野島断層における断層破碎物質を用いた直接的年代測定手法に関する調査・研究							
	② 高速摩擦実験による年代リセット条件の検証							
	(3) 断層破碎物質を用いた断層の定性的な活動性評価手法の整備							
本日の説明	① 応力場の比較による断層の活動性評価に関する調査・研究							
	② 中央構造線における鉱物脈の微細構造及び化学分析に基づく断層の活動性評価に関する調査・研究							

図1 断層破碎物質を用いた断層の活動性評価手法に関する研究の全体行程

2. 研究期間を通じた主要成果

(1) 地球物理学的調査、深部ボーリング調査等に基づく地質構造の把握

① 下北半島横断深部構造探査及び深部ボーリング調査による統合解析

a. 実施内容

断層中部から深部にかけての地質構造を把握するため、堆積岩地域に卓越する逆断層型の断層を有する地域を対象に、反射法及び屈折法地震探査を実施する。それにより、断層に関連する深部及び比較的浅部の地下構造、速度構造等を把握するための手法の適用性を検討する。

b. 成果概要

【データ取得レイアウトの最適化】

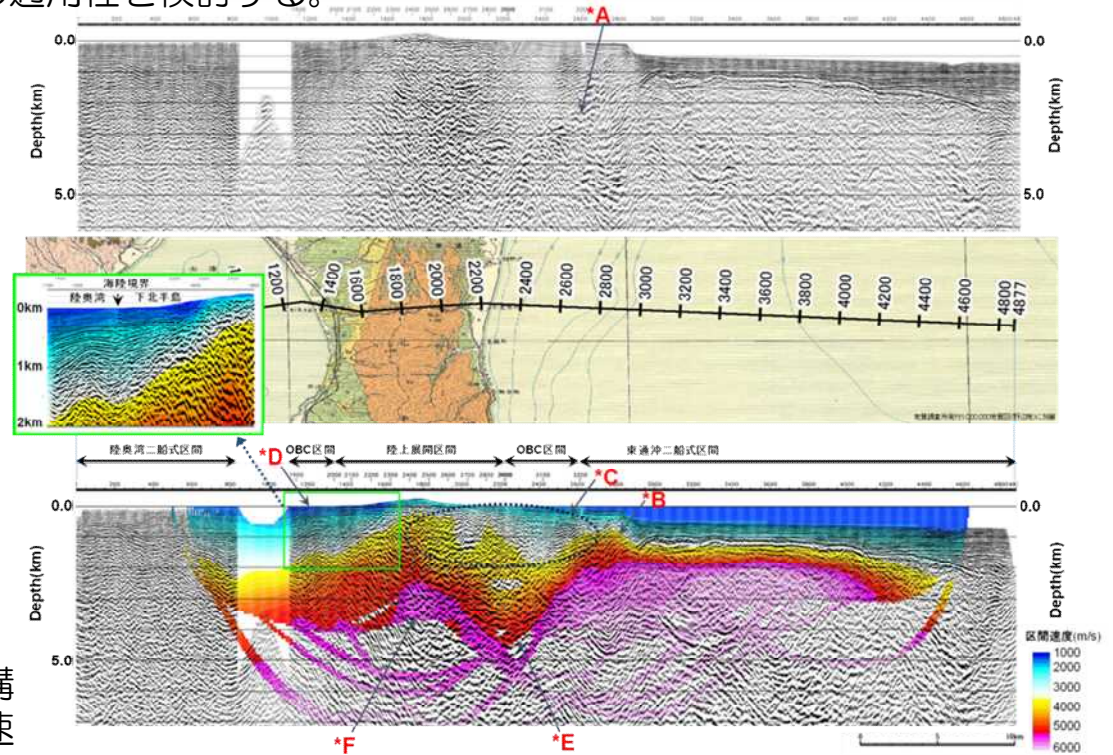
- 長大稠密受振展開の設定、発震エネルギー確保
- 沿岸海域における長大オフセットを伴う二船式海上地震探査データの集積
- 海底着底ケーブル敷設による海陸シームレス接合データの集積

【地下構造の把握】

- 深部地下構造を推定した。
 - (E) 海岸付近直下におけるトラフ、(F) 下北半島陸域の中軸部における隆起域
- 中部の精緻な速度構造を推定した。
 - (A) 比較的明瞭な西傾斜の反射波列、(B) 高速速度領域の隆起形態、(C) 小規模の堆積盆等、(D) 顕著な褶曲構造

【まとめ】

下北半島陸域の中軸部における深部地下構造及び地下3km程度までの中部の精緻な速度構造を把握でき、本手法が有効であることを確認できた。



出典) 佐藤 (2017a, 2017b)

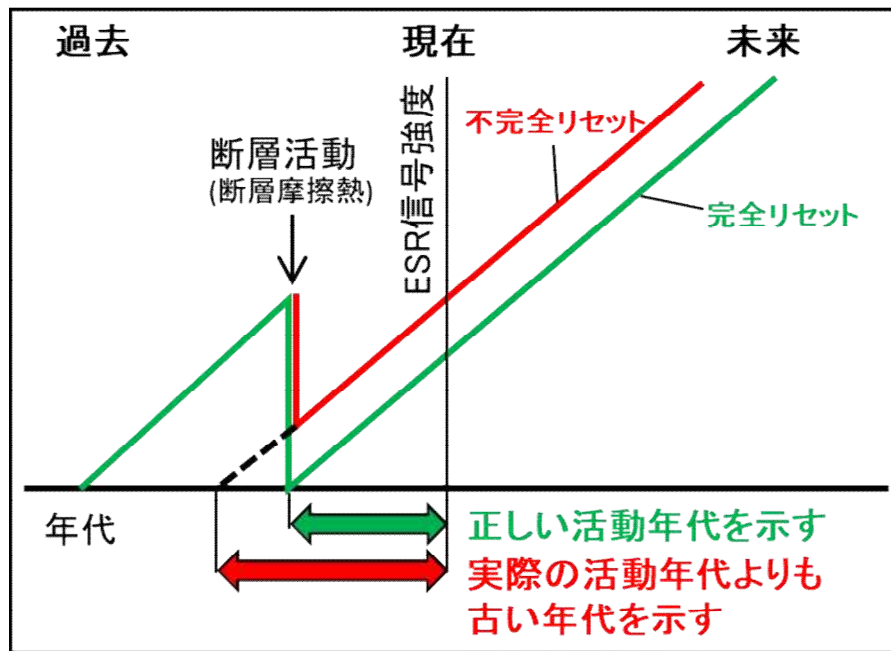
図2 反射法-屈折法統合地震探査深度断面図(縦横比2:1)

(2) 断層破碎物質を用いた断層の定量的な活動性評価手法の整備

① 野島断層における断層破碎物質を用いた直接的年代測定手法に関する調査・研究

a. 実施内容

野島断層（1995年活動）を対象として、異なる深度の断層破碎物質を採取し、それらの断層の年代測定（ルミネッセンス年代測定法、ESR年代測定法及びK-Ar年代測定法）を実施し、断層の直接的年代測定法の有効性について検証する。



出典) 福地 (2003) に一部加筆

図3 不完全なリセットによる年代値への影響



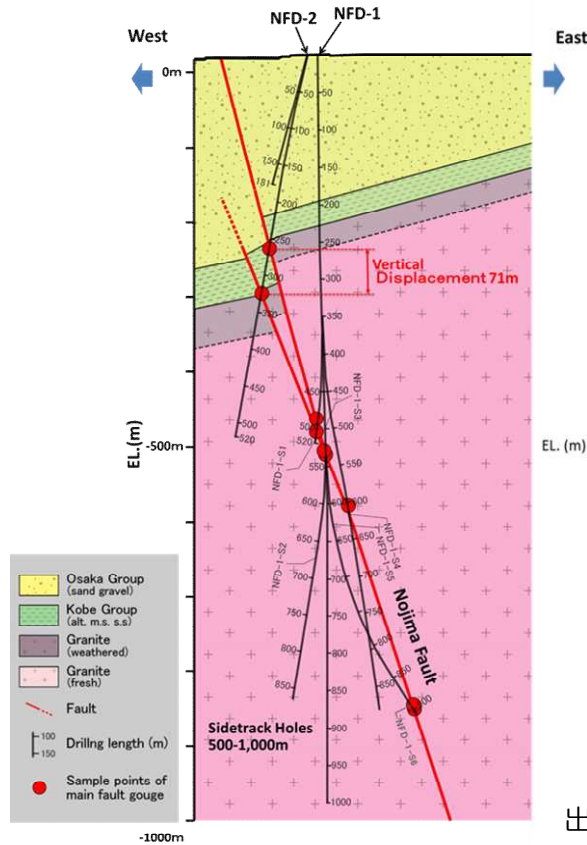
出典) 国土地理院“電子国土Web”に栗田・水野 (1998) の断層トレース及び本研究の調査地点を加筆。

図4 ボーリングサイト周辺の位置図

b. 成果概要

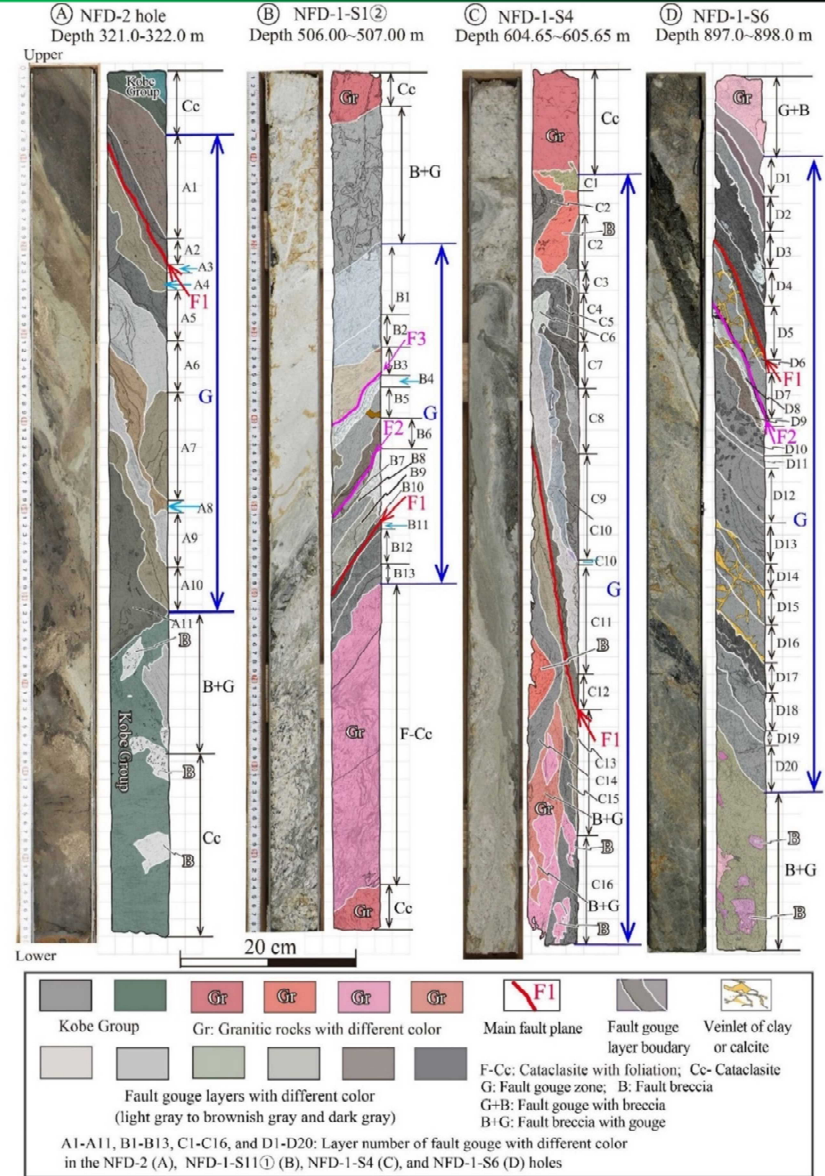
【断層破碎物質の採取】

- せん断面は各断層破碎物質の境界及び断層ガウジ内部に多数認められた。
- 主断層は、各試料において1条から3条認められ、その明瞭さ、直線性から最近に活動したと思われるものを主断層面 (F1~F3) とした。



出典) 京都大学 (2019)

図5 ボーリング地点周辺の地質断面図



出典) 京都大学 (2018)

図6 断層コア写真と詳細スケッチの例

b. 成果概要

【断層の年代測定結果】

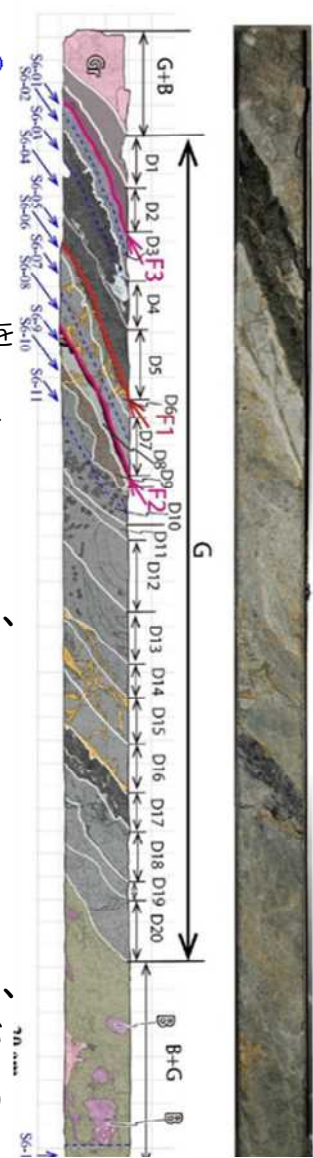
- 最深部において、断層破砕物質全体のTL年代0.1万年～17.2万年、OSL年代1.04万年～1.34万年を得た。
- 主断層面付近では、TL年代0.1万年～5.4万年、OSL年代約1.19万年を得た。
- 特に、最も連続性の高い主断層F1において、TL年代0.1万年を得ることができた。これは、周囲の断層破砕物質の年代値に比べて優位に若い。

【まとめ】

- 深度増加に伴う摩擦発熱の増大が年代リセットに寄与していることが確認できた。
- ルミネッセンス年代測定法（OSL、TL）は、他の手法に比べて数十万年より若い年代値が得られており、後期更新世以降の断層活動の年代測定に有効であることが分かった。

試料番号	TL年代(ka)	OSL年代(ka)
F3 S6-01	39.42±4.41	
S6-02	114.63±16.15	10.4±0.52
S6-03	149.54±16.79	13.4±0.7
S6-04	172.46±17.10	12.9±0.7
F1 S6-05	1.06±0.87	
S6-06	51.09±6.09	12.6±0.2
S6-07	57.86±13.18	12.5±0.7
F2 S6-08	54.07±4.28	11.9±1.1
S6-09	98.81±9.65	

出典) 京都大学(2019)を一部編集



NFD-1-S6(深度897-898m)

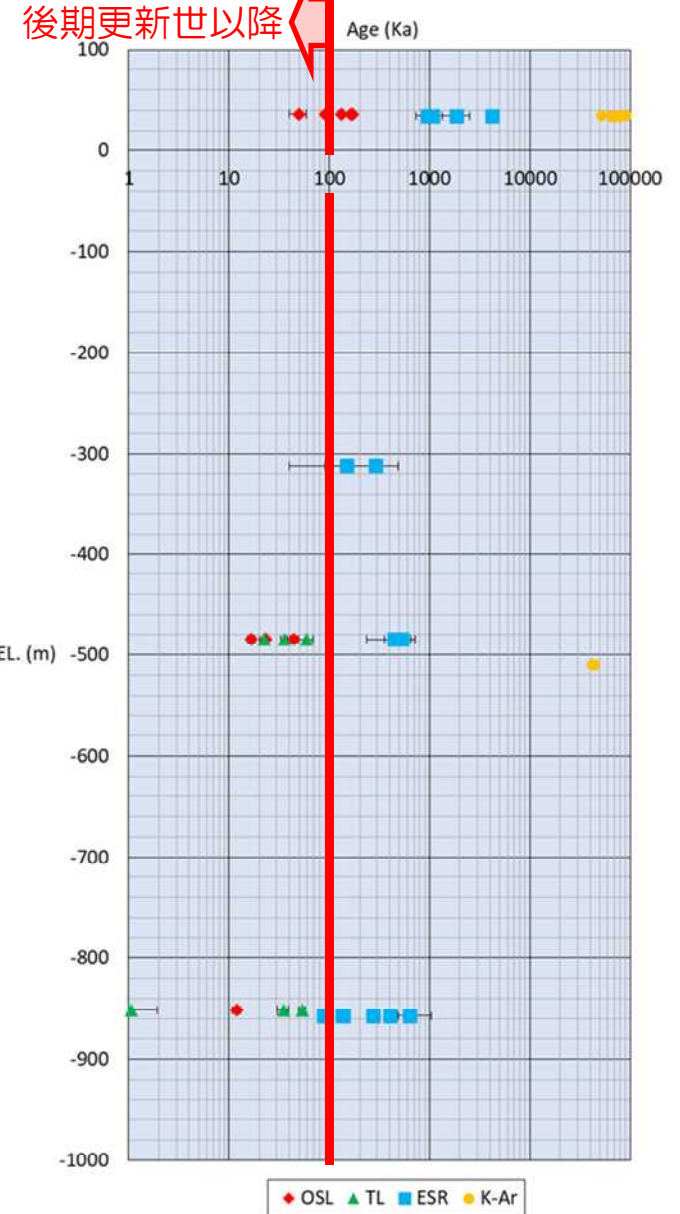


図7 OSL及びTL年代測定結果の例 図8 主断層の破砕部の各種年代値と深度との関係

②高速摩擦実験による年代リセット条件の検証

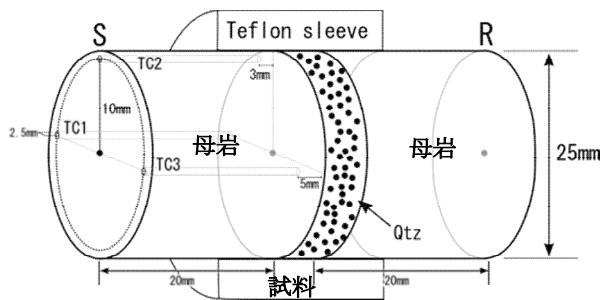
a. 実施内容

断層運動により効率的に摩擦発熱が生じる環境を模擬して高速摩擦実験を行い、ルミネッセンス年代測定法が断層の直接的年代測定法として有効かどうかを検証するとともに、効率的に摩擦発熱が生じた場合に年代がリセットする深度を推定する。

b. 成果概要

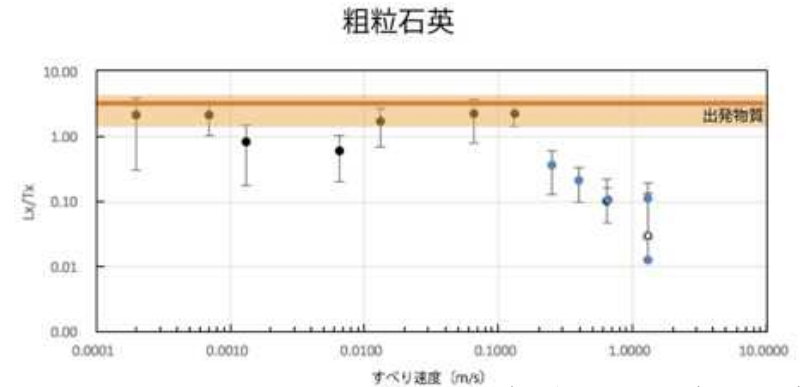
【試験結果】

- 垂直応力1 MPaでの速度可変実験では、温度が変位量と共に上昇する傾向が見られた。特に、0.13 m/sでは118 °C、0.65 m/sでは200 °C以上と顕著な発熱が測定された。ルミネッセンス強度 (L_x/T_x) は、0.65 m/s以上で信号が完全に消失した (図10)。
- 垂直応力可変実験では、5.0 MPaの実験では600 °C、3.0 MPaでは280 °Cまで上昇した。ルミネッセンス強度は、1.0 MPaでは信号の部分消失が認められ、3.0 MPa以上で完全消失した (図11)。



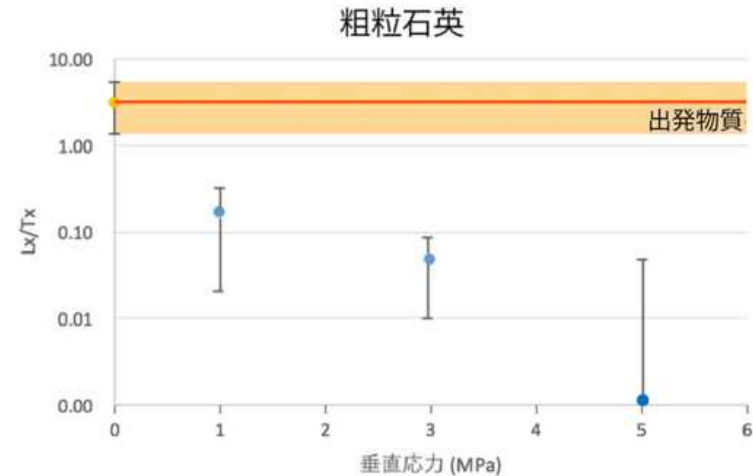
出典) 京都大学 (2018) に加筆

図9 高速摩擦実験の模式図



出典) 京都大学 (2018)

図10 速度可変実験におけるすべり速度と L_x/T_x との関係



出典) 京都大学 (2018)

図11 垂直応力可変実験におけるすべり速度と L_x/T_x との関係

b. 成果概要

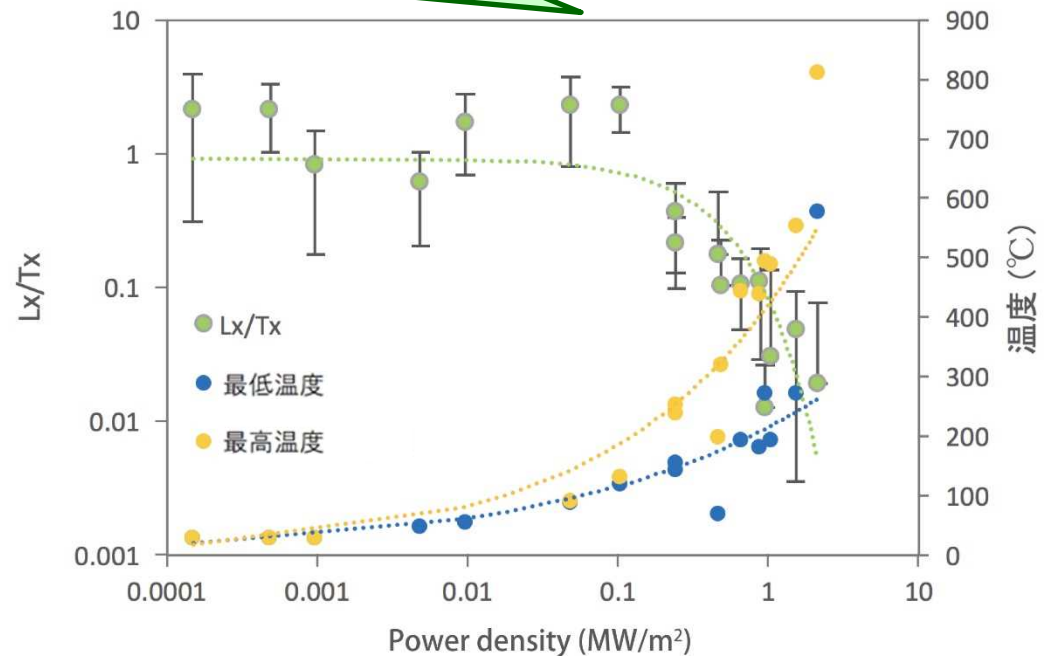
【年代リセット条件及びその深度の検討】

- 実験結果を参照し、Power density（等価せん断応力×等価変位速度：DiToro et al., 2011）、ルミネッセンス強度（ Lx/Tx ）及びガウジ帯内部の最高温度と最低温度を整理したところ、Power densityが大きくなると Lx/Tx が急激に減少し、ガウジ帯内部の温度が上昇する傾向が明瞭に示された。
- 摩擦実験により得られた年代リセット時の物理条件等から年代リセットの深度を検討した結果、効率的に摩擦発熱が生じた場合、通常の内陸地殻内地震においてOSL信号は、深度141mで完全消失、深度35~141mで部分消失すると推定できた。
- 上記の推定深度は、ボーリングによって得られた年代リセット深度よりも浅い。その理由として、実験で用いた試料は純粋な石英粒子であるが、実際の断層破碎物質は粘土鉱物や水分を多く含んでいるために断層活動時の温度上昇が抑制されたことが考えられる。

【まとめ】

断層運動の環境を模擬した高速摩擦実験を実施し、年代リセット時の物理条件等を明らかにした。

- ルミネッセンス信号の部分消失と完全消失が起こり始めるPower densityはそれぞれ約0.24MW/m²と約1.0MW/m²。
- この時のガウジ内の到達温度は、部分消失時には約250℃以上～約150℃以上、完全消失時には約400℃以上～約270℃以上。



出典) 京都大学 (2018)

図12 Power density、ガウジ帯内部の到達温度と Lx/Tx の関係

②中央構造線における鉱物脈の微細構造及び化学分析 に基づく断層の活動性評価に関する調査・研究

a. 実施内容

愛媛県西条市湯谷口において中央構造線の断層露頭観察及びボーリング調査により断層破碎物質を採取し、通常実施されている微細構造観察及び鉱物脈の化学分析の結果を用いて、鉱物脈を用いた断層の活動性評価の事例を蓄積する。



図13 調査範囲周辺の地質 出典) 地質図Navilに加筆

b. 成果概要

【露頭観察結果】

- 湯谷口断層露頭の詳細観察の結果、主断層は安山岩と三波川帯の黒色片岩を境していること、断層面に沿って幅約30cmの黒色片岩起源のウルトラカタクレースイトと50～70cmの安山岩起源のカタクレースイトが認められることが分かった。
- 主断層近傍には幅数cm以下のドロマイトやアンケライト、カオリナイト、石英等の鉱物脈が卓越する。

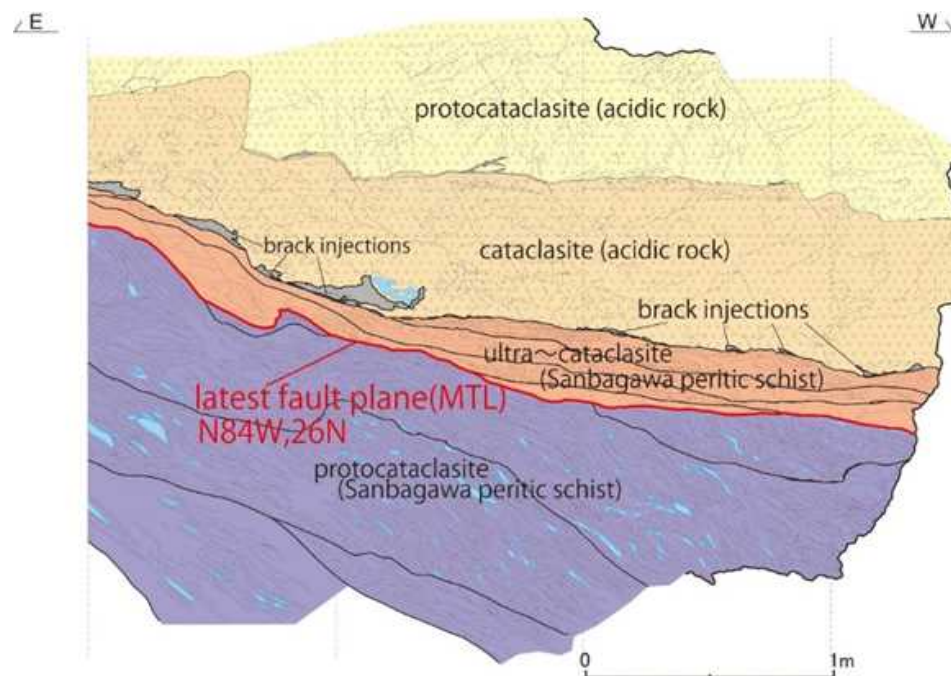


図14 断層露頭の詳細スケッチ 出典) 宮脇・内田 (2017)

b. 成果概要

【鏡下観察結果】

- 採取試料の観察の結果、主断層面は黒色緻密なウルトラカタクレースイトと三波川変成岩の黒色片岩とを境する状況、幅約1mmの白色鉍物脈が主断層面を横断する状況が把握できた。
- 顕微鏡観察では、鉍物脈中に炭酸塩鉍物と隠微晶質の粘土鉍物が認められた。

【化学分析結果】

- 化学分析によりこれらの鉍物脈は主にドロマイト（測点No.1：MgとFeに富む）とカオリナイト（測点No.2：AlとSiに富む）からなることが分かった。
- カオリナイト等の粘土鉍物は100℃以上の環境で生成するとされ（水田・石山，2009）、地温勾配を3℃/100m、地表部の地温を15℃と仮定すると、鉍物脈が形成された深度は2,800m以深であると推定される。

【活動年代の考察】

- 0.6m/千年以下の隆起量を考慮すると（藤原ほか，2005）、これらの鉍物脈は、少なくとも460万年前より以前に形成されたものであると推定される。
- このことは、調査地域の中央構造線は周囲の地形面等の状況から活断層としての動きはないとされている（活断層研究会編，1991）ことと整合的である。

【まとめ】

鉍物脈を用いた断層の活動性評価手法の有効性が改めて確認された。

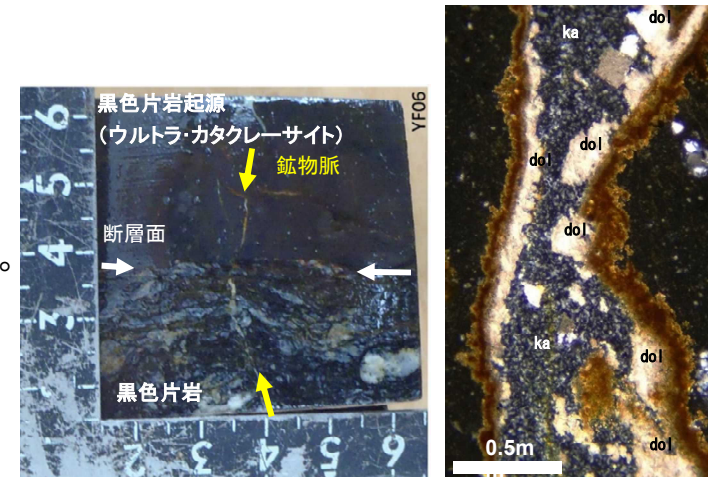


図15 岩石研磨片及び岩石薄片の写真（クロスニコル）

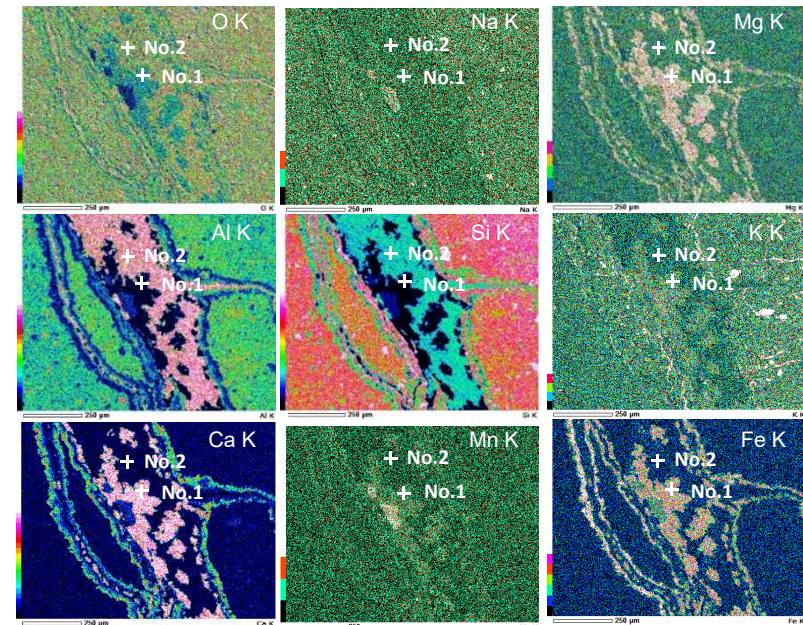


図16 エネルギー分散型X線分光器（EDS）による元素マッピング

3. まとめ

- 地球物理学的調査、深部ボーリング調査等を組み合わせて、断層浅部から断層深部にわたる断層を含む地質構造全体を把握することにより、手法の有効性を確認した。
- 野島断層を対象として直接的年代測定法の有効性について検証し、特にルミネセンス年代測定法（OSL、TL）が後期更新世以降の断層活動の年代測定に有効であることがわかり、断層運動の環境を模擬した摩擦実験によってもこの有効性が裏付けられた。
- 断層近傍の現在と過去の応力場を比較して断層の活動性を把握する方法及び鉱物脈を用いて断層の活動性を評価する方法の有効性を確認した。
- これらのことから、地質構造全体の把握から応力場解析等に基づくテクトニクスの把握、断層の活動性の評価といった、巨視的視点から微視的視点に至る総合的な断層の活動性の評価手法に関する知見を拡充した。

4. 成果の活用について

➤ 新規制基準の適合性審査への活用

(1) 地球物理学的調査、深部ボーリング調査等に基づく地質構造の把握

以下の原子力規制委員会の新規制基準適合性に係る審査会合において下北半島横断深部構造探査及び深部ボーリング調査による統合解析の結果が引用され、周辺の深部地質構造を検討するための根拠として活用された（プロジェクト期間内）。

- 原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合（第597回会合）、平成30年7月開催
- 原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合（第643回会合）、平成30年10月開催

このほか、以下の原子力規制委員会の新規制基準適合性に係る審査会合においても上記の研究結果が引用されている（プロジェクト期間内）。

- 核燃料施設等の新規制基準適合性に係る審査会合（第184回会合）、平成29年2月開催
- 核燃料施設等の新規制基準適合性に係る審査会合（第199回会合）、平成29年4月開催

➤ 論文等の公表

断層破碎物質を用いた断層の定量的な活動性評価手法の整備に関しては、NRA技術報告にまとめる予定（1件）であり、審査のための技術的な判断材料になることが期待される。

断層破碎物質を用いた断層の定性的な活動性評価手法の整備に関しては、鉾物脈を用いた断層の活動性評価に関する知見として論文等として公表する予定（1件）であり、審査のための技術的な判断材料になることが期待される。

5. 成果の公表等

➤ NRA技術報告

- 宮脇昌弘、内田淳一、林茉莉花、“野島断層における地震性すべりを例にした直接的年代測定手法の検証（仮）”、8月中公表予定

➤ 学会発表

- 宮脇昌弘、内田淳一、“断層の活動性評価手法を構築するための破砕帯掘削プロジェクトの概要”、日本地球惑星科学連合 連合大会2015、2015.
- Miyawaki, M. and Uchida, J., “Development of evaluation method for fault activity from fault gouges”, American Geophysical Union (AGU) 2016 Fall meeting, 2016.
- 宮脇昌弘、内田淳一、“Development of evaluation method for fault activity from fault gouges”、日本地球惑星科学連合 連合大会2017、2017.
- 佐藤秀幸、山下伊智朗、Annison, C.、二ノ宮淳、千葉昭彦、代田敦、相部翔、“空中重力偏差法探査を用いた茨城県北部地域における断層構造調査”、日本地球惑星科学連合 連合大会2017、2017.
- 佐藤秀幸、“海陸統合反射法及び屈折法地震探査による下北半島中深部の地震波速度構造”、物理探査学会第136回（平成29年度春季）学術講演会、2017.
- 佐藤秀幸、“深部坑井データを用いた下北半島横断広域反射法データの再解析”、物理探査学会第137回（平成29年度秋季）学術講演会、2017.
- Miyawaki, M., Uchida, J., and Satsukawa, T., “Development of direct dating methods of fault gouges: Deep drilling into Nojima Fault, Japan”, American Geophysical Union (AGU) 2017 Fall meeting, 2017.
- Miyawaki, M., Uchida, J., and Satsukawa, T., “Multidisciplinary borehole surveys of MTL and Neodani Faults”, 日本地球惑星科学連合 連合大会2018、2018.
- Miyawaki, M. and Uchida, J., “Towards understanding the direct dating of coseismic fault slip events”, American Geophysical Union (AGU) 2018 Fall meeting, 2018.
- Miyawaki, M. and Uchida, J., “Validation of the direct dating of coseismic fault slip events along the Nojima Fault”, Hokudan 2020 International Symposium on Active Faulting, 2020.

6. 成果目標に対する達成状況

(1) 地球物理学的調査、深部ボーリング調査等に基づく地質構造の把握

下記のとおり、平成25年度から平成26年度までの実施期間の目的を全て達成した。

- 下北半島横断深部構造探査及び深部ボーリング調査による統合解析：断層中部から深部にかけての地質構造を把握するため、堆積岩地域に卓越する逆断層型の断層を有する地域を対象に、反射法及び屈折法地震探査を実施した。その結果、下北半島陸域の中軸部における深部地下構造及び地下3km程度までの中部の精緻な速度構造を把握でき、本手法が有効であることを確認した。
- 若狭地域における物理探査手法を用いた断層構造調査：断層浅部から断層中部にかけての地質構造を把握するため、硬質岩盤中の横ずれ断層を有する地域を対象に、地質調査及び物理探査を実施した。その結果、断層地表から深部まで連続する低比抵抗帯の下限は、実際の断層の傾斜角と良く一致したことから、CSAMT 法電磁探査が硬質岩盤中の横ずれ断層の検出に対して適用性が高いことを確認した。
- 茨城北部地域における物理探査手法を用いた断層構造調査：海域から陸域に断層が延伸していると推定される地域を対象に、近年開発された空中重力偏差法探査により、断層を抽出するための手法の適用性を検討した。その結果、北西－南東方向に伸びる断層を示唆する地質構造の検出及び連続性を有する可能性が明瞭に示され、海陸境界の断層構造調査に本手法が有効であることを確認した。

(2) 断層破砕物質を用いた断層の定量的な活動性評価手法の整備

下記のとおり、平成27年度から令和元年度までの実施期間の目的を全て達成した。

- 野島断層における断層破砕物質を用いた直接的年代測定手法に関する調査・研究：1995年の兵庫県南部地震で活動した野島断層を対象として、直接的年代測定法の有効性について検証した。その結果、深度増加に伴う摩擦発熱の増大が年代リセットに寄与していることを確認した。また、特にルミネッセンス年代測定法（OSL及びTL）は、他の年代測定手法に比べて有意に熱の感度が高く、数十万年より若い年代値が得られており、後期更新世以降の断層活動の年代測定に有効であることがわかった。
- 高速摩擦実験による年代リセット条件の検証：断層運動の環境を模擬した摩擦実験を実施し、年代リセット時の物理条件等を明らかにした。この物理条件等から年代リセットの深度を検討した結果、効率的に摩擦発熱が生じた場合、通常の内陸地殻内地震（上記地震に相当するマグニチュード7クラス）においてOSL信号は、深度141mで完全消失、深度35～141mで部分消失すると推定した。

(3) 断層破砕物質を用いた断層の定性的な活動性評価手法の整備

下記のとおり、平成28年度から令和元年度までの実施期間の目的を全て達成した。

- 応力場の比較による断層の活動性評価に関する調査・研究：断層近傍の現在と過去の応力場を比較して断層の活動性を把握することを目的として1995年の兵庫県南部地震で地表地震断層が確認された野島断層とその分岐断層である浅野断層において応力場の測定を行った。その結果、いずれも現在の広域応力場と同様の傾向、すなわち東西方向の水平圧縮場が特定され、これらの手法の有効性を確認した。
- 中央構造線における鉱物脈の微細構造及び化学分析に基づく断層の活動性評価に関する調査・研究：中央構造線の非活動区間において採取した断層破砕物質を用いて、通常実施されている微細構造観察及び鉱物脈の化学分析を行った。その結果、鉱物脈が断層を横断していること、さらにその鉱物脈が地温100℃以上の環境で生成されたことが分かった。これらのことから、中央構造線の非活動区間は少なくとも後期更新世以降は活動していないことが示され、周囲の地形面等の状況から活断層としての動きはないとされていることを踏まえると、本手法が有効であることを改めて確認した。

7. 今後の展開

- 断層破碎物質を用いたより確度の高い断層活動性評価を行うためには、複数の手法による総合的な評価を行うことが求められるが、鉍物脈法以外の活動性評価に関する知見については、具体例に乏しいという課題がある。そこで、令和2年度以降の新規プロジェクトでは、活断層及び長期間にわたり活動していない断層において引き続き断層破碎物質を採取し、鉍物脈法以外の定性的評価を実施する。
- 断層の認定にあたっては、陸上またはかつての海底地すべりの痕跡、岩盤の膨張、地震動による受動的な変位・変形等と、地震を生じさせる断層との識別という課題も残されている。そこで、令和2年度以降の新規プロジェクトでは、地震以外に起因した変位・変形及び受動的な変位・変形について、文献調査等により関連する地質情報を整理するとともに、試料を採取し、室内試験、室内化学分析、年代測定等によりそれらの試料の物理・化学的な性質及び活動性を把握する。受動的な変位・変形、古地すべりについては地震を生じさせる断層との比較も行う。これらの情報に基づいて断層の成因評価に有用な知見を拡充する。

文 献

- 栗田泰夫、水野清秀、“兵庫県南部地震に伴う地震断層ストリップマップ—野島・小倉及び灘川地震断層, 1:10,000”、構造図、地質調査所、12、74p.、1998.
- Di Toro, G., Han, R., Hirose, T., De Paola, N., Nielsen, S., Mizoguchi, K., Ferri, F., Cocco, M. and Shimamoto, T., “Fault lubrication during earthquakes” , Nature, 471, 494-498, 2011.
- 藤原治、柳田誠、三箇智二、守屋俊文、“地層処分から見た日本列島の隆起・浸食に関する研究”、原子力バックエンド研究、11、113-124、2005.
- 福地龍郎、“ESR法による断層活動年代測定—その原理と実践—”、深田研ライブラリー、No. 63、45p、2003.
- 活断層研究会編、“新編日本の活断層：分布と資料”、東京大学出版会、473p.、1991.
- 国土地理院、“電子国土Web”、2016. <http://maps.gsi.go.jp> (2020年1月14日確認)
- 京都大学、“平成27年度原子力施設等防災対策等委託費（野島断層における深部ボーリング調査）事業 報告書”、2017.
- 京都大学、“平成29年度原子力施設等防災対策等委託費（追加ボーリングコアを用いた断層破碎物質の分析）事業 報告書”、2018.
- 京都大学、“平成30年度原子力施設等防災対策等委託費（断層破碎物質を用いた断層活動性評価手法に係る総合検討）事業 報告書”、2019.
- 宮脇昌弘、内田淳一、“断層破碎物質を用いた断層の活動性評価手法の整備”、JPGU-AGU Joint Meeting 2017講演予稿集、SGL35-P03、2017.
- 水田敏夫、石山大三、“母岩の変質と鉱床の生成”、資源地質、59、165-180、2009.
- 産業技術総合研究所地質調査総合センター、“地質図Navi”、
<https://gbank.gsj.jp/geonavi/geonavi.php#6,38,247,137,000> (2020年2月19日確認)
- 佐藤秀幸、“海陸統合反射法及び屈折法地震探査による下北半島中深部の地震波速度構造”、物理探査学会第136回（平成29年度春季）学術講演会講演予稿集、P-8、2017.
- 佐藤秀幸、“深部坑井データを用いた下北半島横断広域反射法データの再解析”、物理探査学会第137回（平成29年度秋季）学術講演会講演予稿集、P-3、2017.

地震の活動履歴評価手法に関する研究 事後評価 説明資料

令和2年4月

原子力規制庁長官官房技術基盤グループ

地震・津波研究部門

目次

1. 研究概要
 2. 研究期間を通じた主要成果
 3. まとめ
 4. 成果の活用について
 5. 成果の公表等
 6. 成果目標に対する達成状況
 7. 今後の展開
- 文献

1. 研究概要

1.1 背景

「敷地内及び敷地周辺の地質・地質構造調査に係る審査ガイド」（以下「審査ガイド」という。）では「将来活動する可能性のある断層等」が定義されている。また、「その認定に当たって、後期更新世（約12～13万年前）の地形面又は地層が欠如する等、後期更新世以降の活動性が明確に判断できない場合には、中期更新世以降（約40万年前以降）まで遡って地形、地質・地質構造及び応力場等を総合的に検討した上で活動性を評価すること」とされており、断層の活動性評価に係る知見を継続的に蓄積していくことが重要である。さらに、確率論的地震ハザード評価及び確率論的津波ハザード評価では、地震履歴（活動時期、活動間隔等）の情報が評価結果に大きく影響するため、リスク評価の活用に向けて、これらの情報に係る技術的根拠を明確にすることが重要である。

内陸地殻内地震のうち、地表に明瞭な痕跡を残す活断層について、陸域では基本的にトレンチ調査により活動性が評価されているが、海域ではトレンチ調査が実施できない。そのため、統計的に推定された活動間隔が用いられることが多く、評価結果に与える不確かさの幅が大きくなることが課題である。また、地表に明瞭な痕跡を残さない活断層については、広域的に変形した地形面及び地層の形成年代を火山灰を用いて推定し、それを基に活動性を評価する方法があるが、火山灰の年代誤差が活動性評価の結果に大きく影響することが課題である。一方、プレート間地震の履歴については、これまで主として歴史地震の情報が利用されてきた。しかしながら、平成23年東北地方太平洋沖地震から得られた教訓を踏まえると、活動間隔が長い地震も対象にした先史時代における地震履歴の情報を整理し、その扱い方を検討することが重要である。

1.2 目的

(1) 活断層に起因する内陸地殻内地震の履歴に関する評価手法の整備

①浅海域における古地震履歴評価手法の整備

確率論的地震ハザード評価及び確率論的津波ハザード評価に必要な、海域における内陸地殻内地震の活動履歴を評価する方法の一つとして、断層を挟んだ2点間の柱状採泥調査によって断層変位指標を識別し、海域活断層の活動履歴を調査する方法が挙げられる。そこで、このような試料に対し完新統（完新世の地層）を対象に帯磁率測定及び微化石分析を実施し、断層変位指標としての適用性を検討する。

②イベント堆積物を用いた古地震履歴評価手法の整備

確率論的地震ハザード評価及び確率論的津波ハザード評価に必要な、海域における内陸地殻内地震の活動履歴を評価する方法の一つとして、イベント堆積物を識別し、間接的に周辺の活断層の活動履歴を調査する方法が挙げられる。そこで、断層近傍で実施された柱状採泥調査によって得られた試料に対し完新統を対象に帯磁率測定及び微化石分析を実施し、イベント堆積物を対比する上でのこれらの分析の適用性を検討する。

③火山灰層序学的年代評価手法の整備

震源断層の評価にとって、活断層の活動性に関わる年代評価は極めて重要な役割をもつ。特に地表に明瞭な痕跡を残さない活断層については、広域的に変形した地形面及び地層の形成年代を火山灰を用いて推定し、それを基に活動性を評価する方法があるが、火山灰の年代誤差が活動性評価の結果に大きく影響することが課題である。そこで、新規基準に対応する海洋酸素同位体ステージ（Marine Isotopic Stage：以下「MIS」という。）11以降（最近約40万年間）の火山灰層序学的年代評価手法を整備するため、深海底堆積物（ちきゅうC9001Cコア）及び陸域堆積物に含まれる火山灰（テフラ）の対比を検討する。

(2) プレート間地震の履歴に関する評価手法の整備

①放射性炭素年代測定による隆起年代評価手法の整備

プレート間地震又は沿岸域の内陸地殻内地震の活動履歴を評価する方法として、沿岸隆起に起因する離水海岸地形及び離水生物群集の放射性炭素年代測定に基づいた方法が挙げられる。そこで、離水海岸地形の認定、隆起年代を評価する際の結果のばらつき（酸処理濃度及び測定試料の対象の違い）を把握するため、すでに隆起したことが明らかな地域において離水海岸地形を認定し、高度分布及びその地形面が形成された年代を検討する。

②宇宙線生成核種による隆起年代評価手法の整備

プレート間地震又は沿岸域の内陸地殻内地震の活動履歴を評価する方法として有効な離水生物群集が化石として保存されにくい地域においては、放射性炭素年代測定が利用できない。そこで、宇宙線生成核種を用いて離水海岸地形の年代を評価する上での不確実性の要因を分析するとともに留意点を整理し、隆起年代評価への適用可能性を検討する。

1.3 全体行程

本研究は平成29年度から令和元年度にかけて実施したものである。全体行程を図1に示す。

	実施内容	平成29年度	平成30年度	平成31年度 令和元年度
	(1)活断層に起因する内陸地殻内地震の履歴に関する評価手法の整備			
本日の説明	①浅海域における古地震履歴評価手法の整備			
	②イベント堆積物を用いた古地震履歴評価手法の整備			
本日の説明	③火山灰層序学的年代評価手法の整備			
	(2)プレート間地震の履歴に関する評価手法の整備			
本日の説明	①放射性炭素年代測定による隆起年代評価手法の整備			
	②宇宙線生成核種による隆起年代評価手法の整備			

図1 地震の活動履歴評価手法に関する研究の全体行程

2. 研究期間を通じた主要成果

(1) 活断層に起因する内陸地殻内地震の履歴に関する評価手法の整備

① 浅海域における古地震履歴評価手法の整備

a. 実施内容

断層を挟んだ2点間の柱状採泥調査（右図、粟島1コア及び粟島2コア）によって得られた完新統を対象に帯磁率測定及び微化石分析を実施し、断層変位指標としての適用性を検討した。研究対象とした海域は1964年新潟地震震源域であり、これに対応する隆起帯は1990年前後にすでに認識されている。



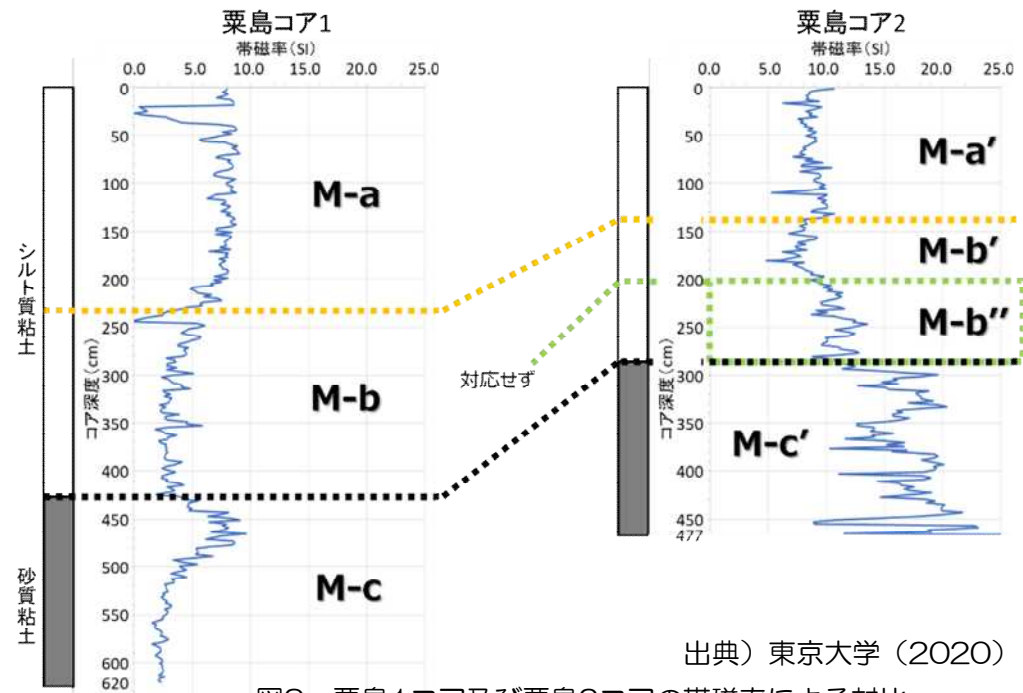
出典) 東京大学 (2020)

図2 粟島1コア及び粟島2コアの採取位置

b. 成果概要

【帯磁率測定】

- 対比される層準としては岩相境界が挙げられる。
- 帯磁率によるコア間の対比から以下のことが言える。
 - M-a区間とM-a' 区間では、両コアともに安定した値幅で相関が良い。
 - M-bに移行する帯磁率の低下と、M-a' からM-b' に帯磁率がやや低下する層準は対比可能と考えられる。
 - M-b及びM-b'、M-b'' 区間の対応は良くない。



出典) 東京大学 (2020)

図3 粟島1コア及び粟島2コアの帯磁率による対比

b. 成果概要

【微化石分析】

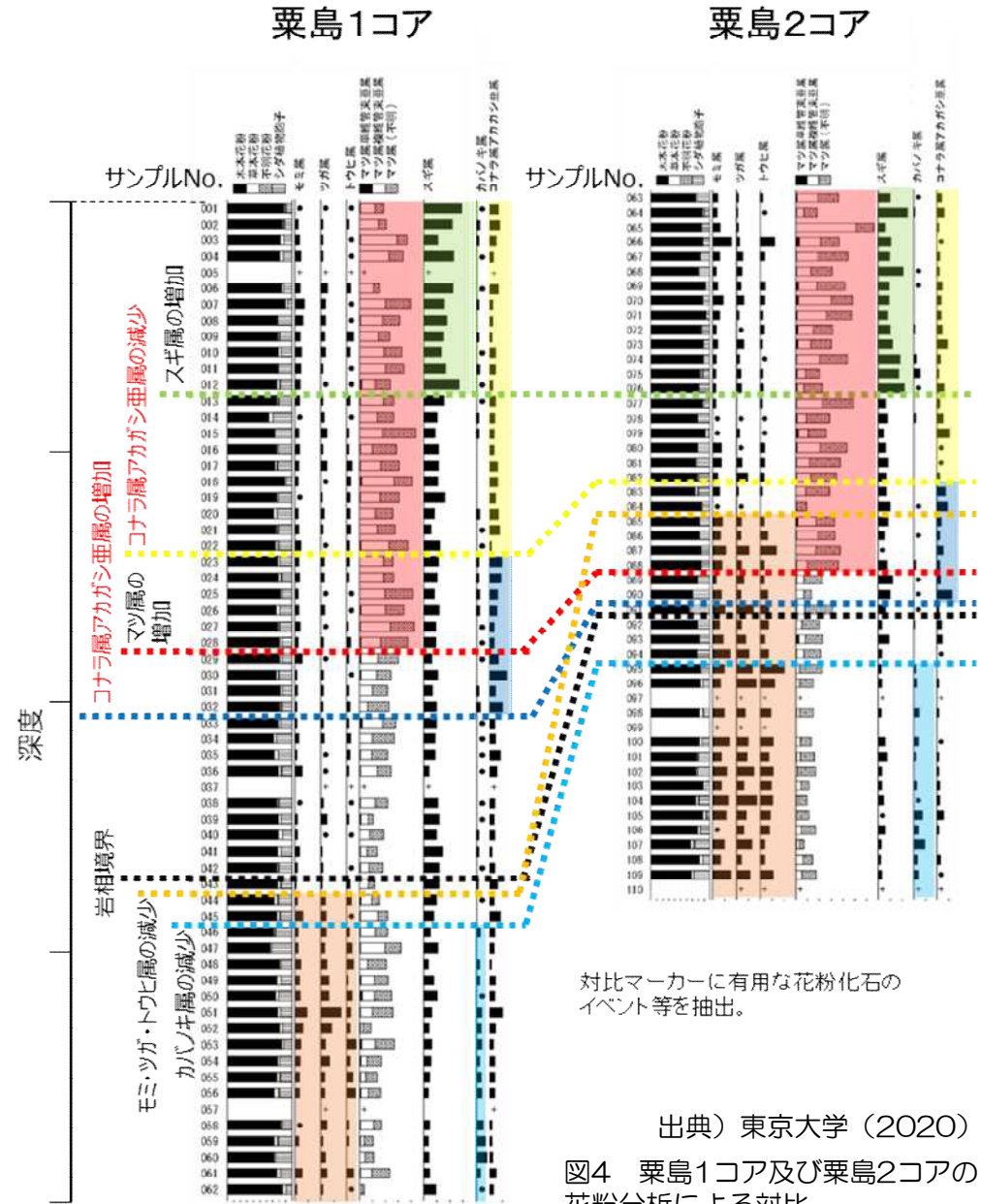
- 花粉化石分析の結果、花粉化石イベントのコア間対比が可能であることが分かった。

○花粉化石で着目されるイベント間の層厚

- コナラ属アカガシ亜属の増加イベント（青破線）からコナラ属アカガシ亜属の減少イベント（黄色破線）までの層厚は両コアで同程度である。
- その前後の区間の層厚がコア間で変化している。
- このような2点間の層厚の差異は、地震時の隆起・沈降の傾向を反映していると考えることができる。
- 帯磁率によるコア間対比とも調和的である。

【まとめ】

通常用いられている帯磁率測定及び微化石分析が、完新統のコアを対象にした地震履歴の抽出に有用であることを示した。



出典) 東京大学 (2020)
図4 栗島1コア及び栗島2コアの花粉分析による対比

③火山灰層序学的年代評価手法の整備

a. 実施内容

新規制基準に対応するMIS* 11以降（最近約40万年間）の火山灰層序学的年代評価手法を整備するため、深海底堆積物（ちきゅうC9001Cコア）及び陸域堆積物に含まれる火山灰（テフラ）の対比を検討した。

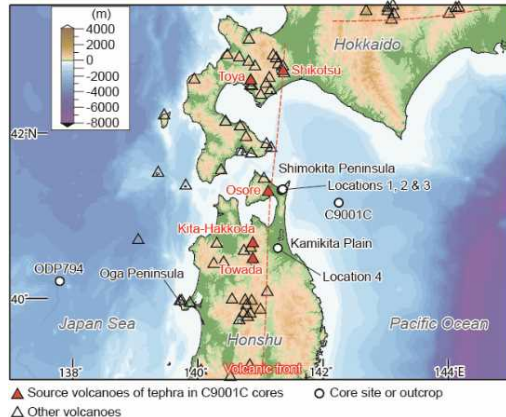
その際、陸域堆積物編年の信頼性向上の観点から、風化に強い鉱物が対比指標として妥当であるか検討した。

*海洋酸素同位体ステージ（Marine Isotopic Stage）

b. 成果概要

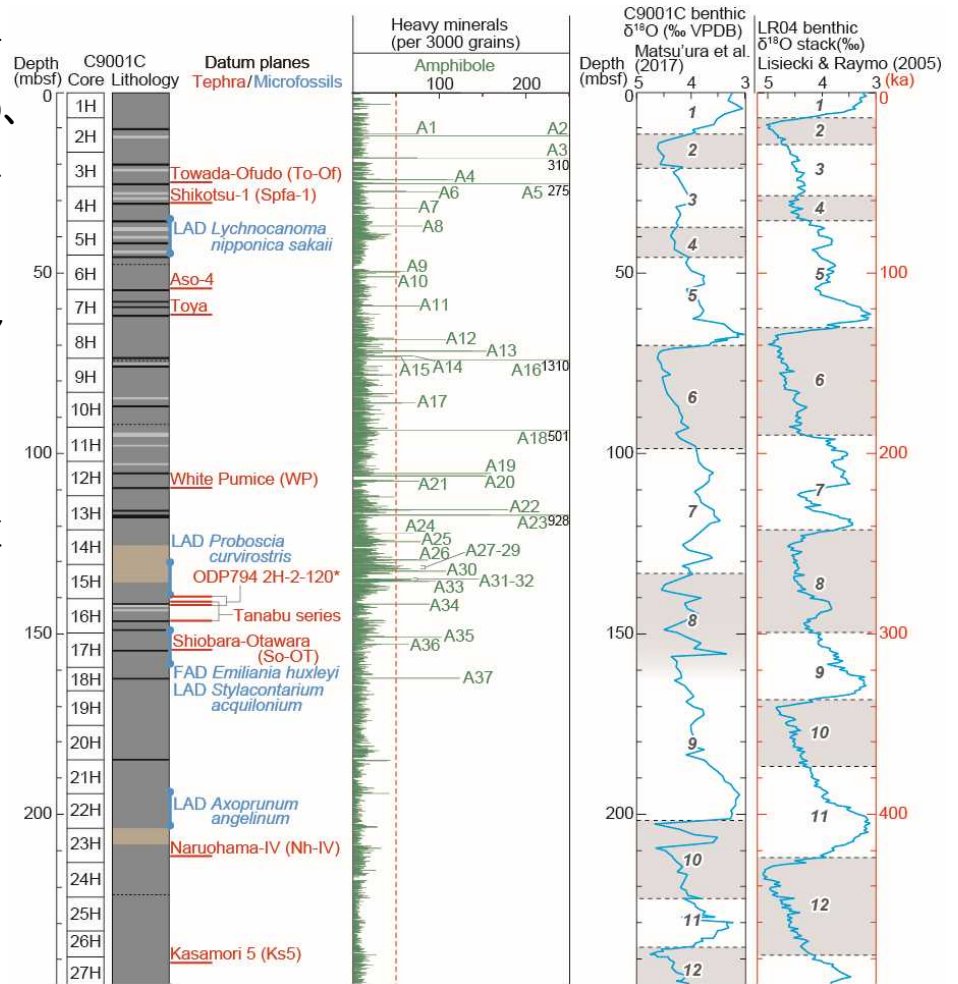
➤ 風化に強く陸域テフラとの対比に有効な角閃石粒子の多産層準を、A1～A37と整理した。

➤ このうち、火山ガラスを付着させているものはテフラ起源であると判断し、主成分化学組成を測定した。



出典) Matsu'ura and Komatsubara (2017)

図5 下北沖C9001C孔の位置



出典) Matsu'ura and Komatsubara (2017)より、1-27Hコアまでを抜粋

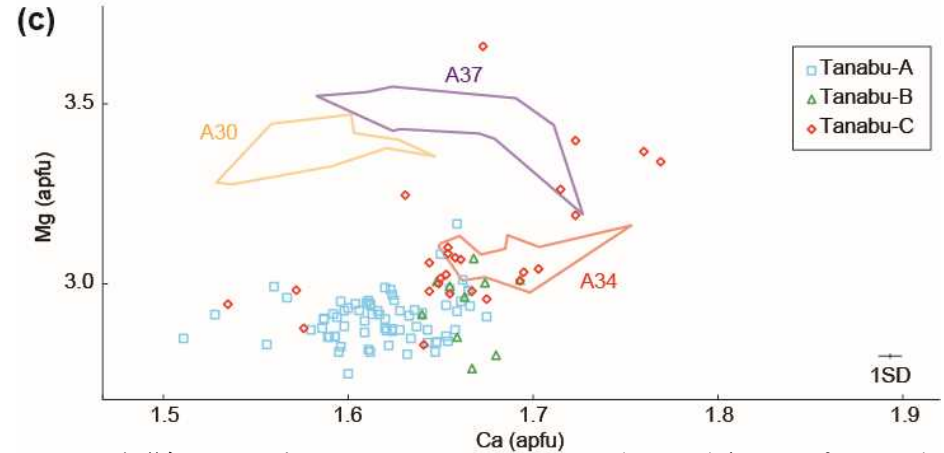
図6 ちきゅうC9001C孔の層相、微化石年代層序、テフラ層序及び海洋酸素同位体層序

b. 成果概要

- 主成分化学組成の分析を以下に示す。
 - MIS7初期～MIS9末期と推定されるA30、A34及びA37の主成分化学組成を例に示す（図7）。
 - この年代に対応するテフラは、恐火山から噴出したTn-A、-B及び-Cが候補となる（桑原・山崎，2001）。
 - Mg含有量を指標にすると、A34の角閃石はA30及びA37から識別可能であり、Tn-CとA34は対比される可能性が高いことが分かった（図7）。
- A34の深度を本研究による年代モデルを用いて年代に変換し、Tn-Cの噴出年代（約26万年前）を得た（図8）。これは、桑原（2006）の放射年代（ 18 ± 4 万年前）よりも大幅に古い。
- Tn-Cの年代は、下北半島北東部における海成段丘（T4～T1段丘：Matsu'ura et al., 2014）編年の再検討に有効であることが分かった。

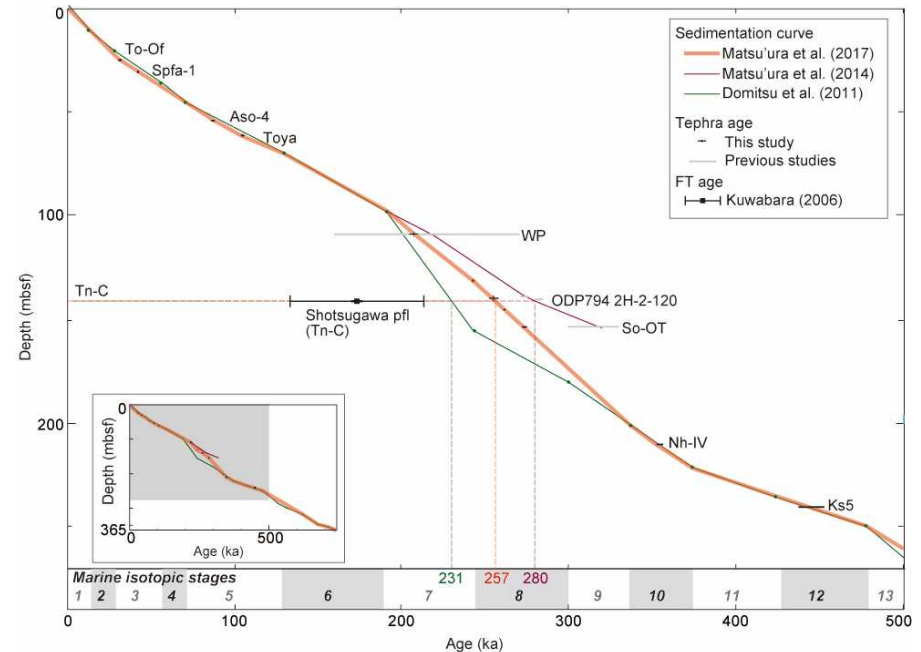
【まとめ】

中期更新世以降のテフラ年代を高精度に決定するとともに、深海底堆積物中のテフラを陸成堆積物中のテフラと対比することができ、断層変位指標である海成段丘の年代評価に信頼性の高いテフラ年代を活用できる見通しを得た。



出典) Matsu'ura and Komatsubara (2017)をコンパイルした

図7 テフラに含まれる角閃石粒子の化学組成



出典) Matsu'ura and Komatsubara (2017)

図8 ちきゅうC9001C孔の深海底堆積物のテフラ層序、微化石年代層序及び年代モデル

(2)プレート間地震の履歴に関する評価手法の整備

①放射性炭素年代測定による隆起年代評価手法の検討

a. 実施内容

離水海岸地形の認定、隆起年代を評価する際の結果のばらつき（測定試料の対象の違い等）を把握するため、すでに地震活動により隆起したことが明らかな地域において離水海岸地形を認定し、高度分布及び離水生物遺骸の放射性炭素年代により、その地形面が形成された年代を検討した。測定試料の対象の差異による影響を検討する地域として、離水生物群集遺骸が豊富に産出する高知県足摺岬（松尾地区）を選定した。



地理院タイル 電子国土基本図を背景に使用

図9 調査地域位置図

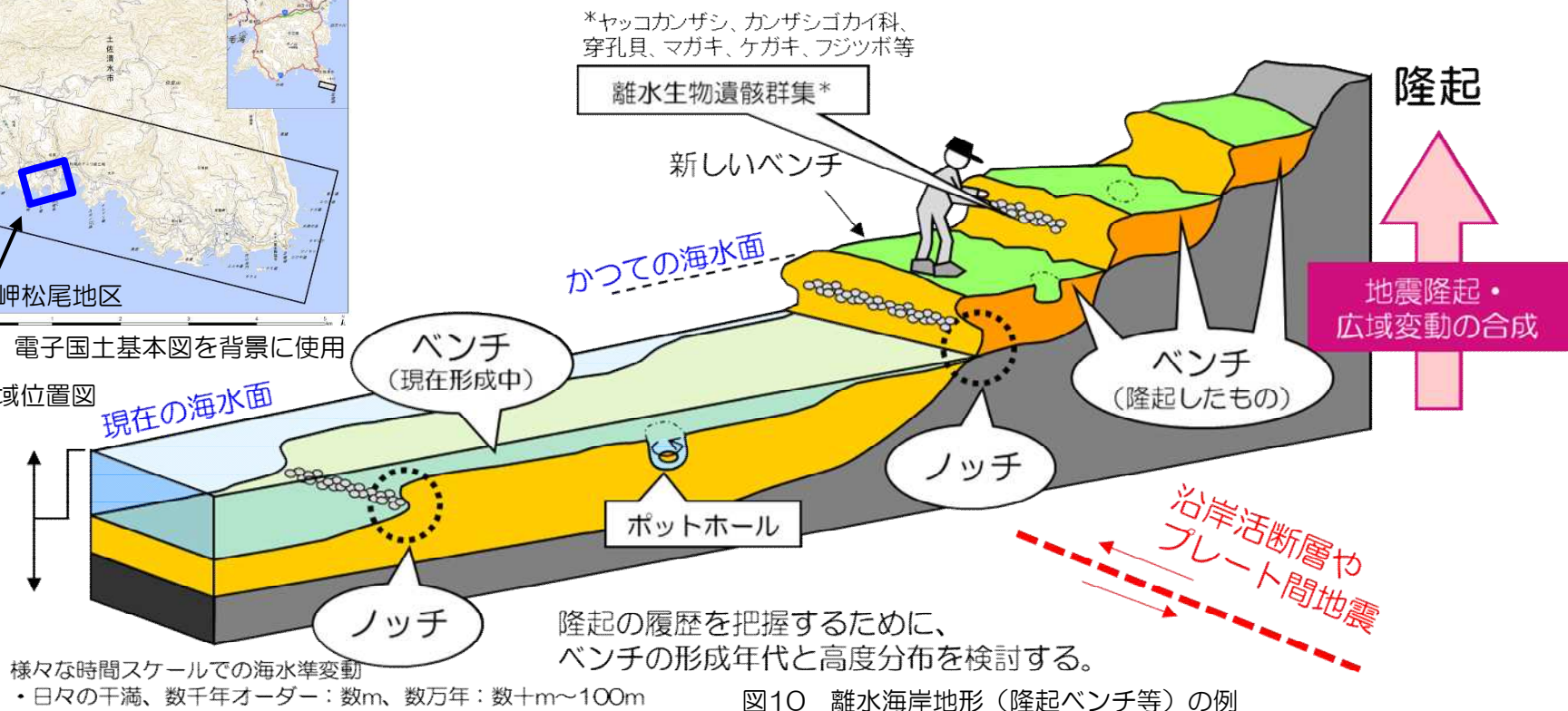


図10 離水海岸地形（隆起ベンチ等）の例

b. 成果概要

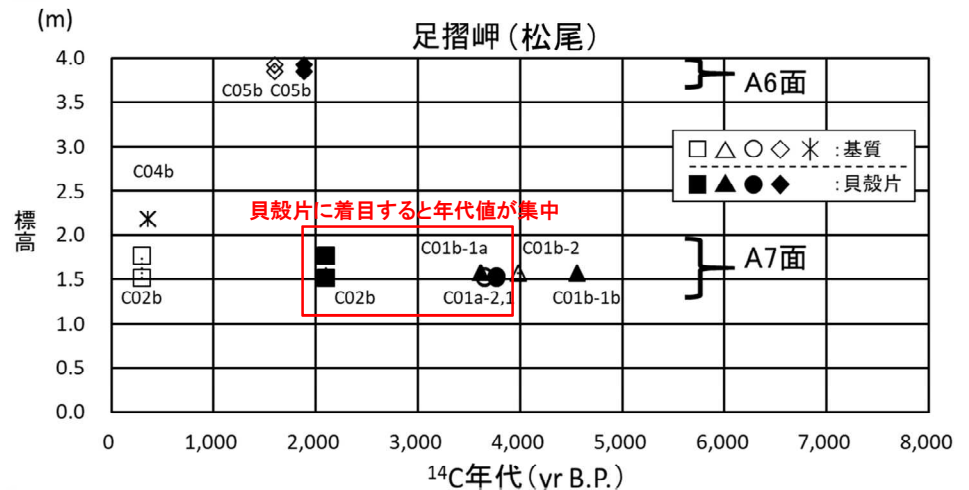
- 離水海岸地形は海岸侵食地形面として認識でき、高位よりA1面～A7面に区分した。
- 主としてA7面（標高1.5～2.2m）で採取した試料について、放射性炭素年代を測定した結果は以下の通りである。

- ばらつきはあるが、全体的に基質の年代が若く、貝殻片の年代がより古い傾向がある。
- この理由としては、基質であるビーチロックの再結晶時に、相対的に新しい炭素を取り込んだ可能性が考えられる。

- 貝殻片に着眼し、A7面の形成年代を $2,096 \pm 32 \sim 3,762 \pm 28$ yr B.P.と推定した。これは、前杵（1988）の $1,700 \pm 60$ yr B.P.と概ね整合している。

【まとめ】

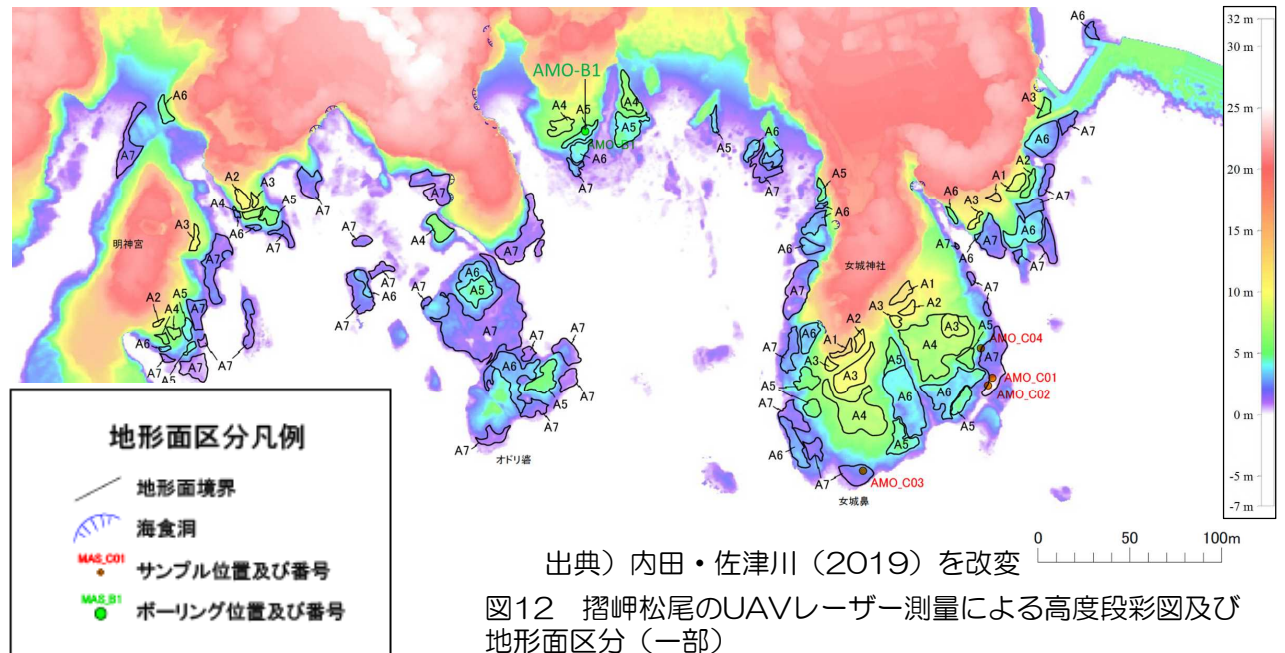
既知の地震による離水海岸地形の妥当な年代値を得ることができた。さらに、年代測定試料の対象の違いが放射性炭素年代測定の結果に与える影響を把握できた。



同一標高にある同じ輪郭をもつシンボルは同一試料から分取した試料であることを表す。

出典) 内田・佐津川 (2019) を改変

図11 足摺岬松尾に分布する離水生物遺骸群集から得られた放射性炭素年代



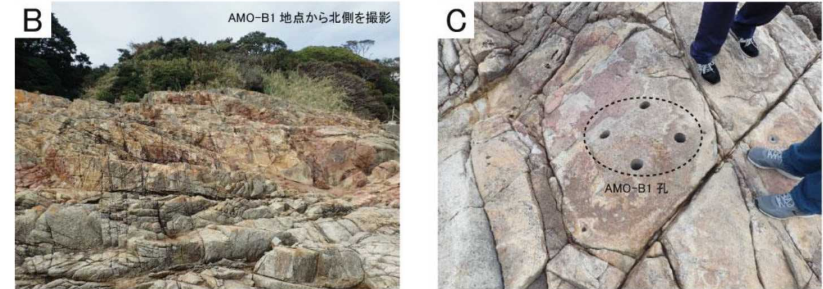
出典) 内田・佐津川 (2019) を改変

図12 摺岬松尾のUAVレーザー測量による高度段彩図及び地形面区分（一部）

②宇宙線生成核種による隆起年代評価手法の整備

a. 実施内容

離水海岸地形において、離水生物遺骸が十分に存在しない場合がある。そのため、宇宙線生成核種 (^{10}Be) を用いて離水海岸地形の年代を評価する上での不確実性の要因を分析するとともに留意点を整理し、隆起年代評価への適用可能性を検討した。検討対象は高知県足摺岬（松尾地区）のA5面（図12の中央部、AMO-B1地点）である。



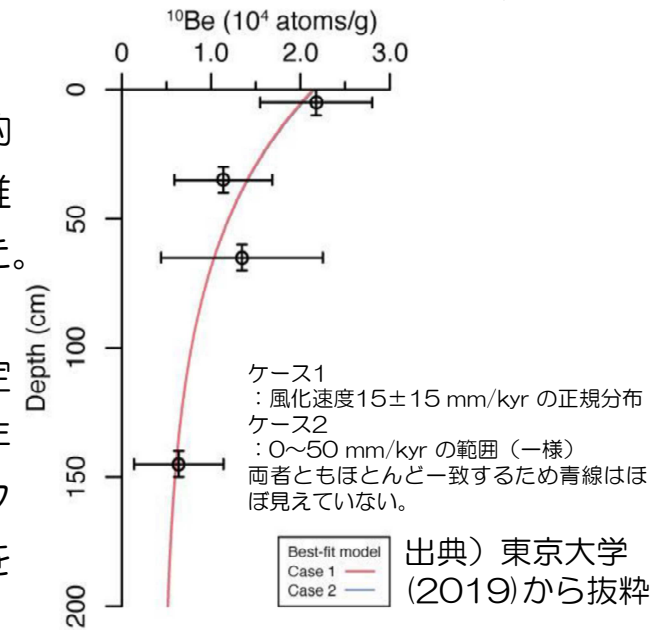
b. 成果概要

- ^{10}Be 濃集量の深度プロファイルは概ね地表から深部に向かって減衰する傾向を示し、低濃度の ^{10}Be を有意に検出できた。
- 表面照射年代の解析の結果、約4,600 -2,600/+4,500年、約4,700 -2,700/+5,900年が得られ、最頻値は前奎（1988）で推定されている隆起年代（4,800~2,730 yr B.P.）と調和的であった。

【まとめ】

^{10}Be 等の宇宙線生成核種を用いることで離水海岸地形の年代を推定し、隆起年代評価に本手法が適用できる可能性を示した。また、数千年前に形成された比較的若い隆起海岸地形においても、測定の際のバックグラウンドを低減することによって宇宙線照射によって生成した核種を検出できることが分かった。

図13 試料採取地点とボーリング孔の様子



3. まとめ

- 内陸地殻内地震及びプレート間地震の履歴評価に向けて、コア間の対比精度を高めることができ、完新統のコアを対象にした断層変位指標の検出及びイベント堆積物の対比に、微化石分析等が有用であることを示した。
- 中期更新世以降のテフラ年代を高精度に決定するとともに、深海底堆積物中のテフラを陸成堆積物中のテフラと対比することにより、断層変位指標である海成段丘の年代評価に信頼性の高いテフラ年代を活用できる見通しを得た。
- 既知の地震による離水海岸地形の妥当な年代値を得た。さらに、酸処理濃度及び年代測定試料の対象の違いが放射性炭素年代測定の結果に与える影響を把握した。
- 宇宙線生成核種を用いることで離水海岸地形の年代を推定し、隆起年代評価に本手法が適用できる可能性を示した。

4. 成果の活用について

➤ 新規制基準の適合性審査への活用

以下の原子力規制委員会の新規制基準適合性に係る審査会合において火山灰層序学的年代評価手法の整備に係る研究成果（Matsu'ura et al., 2014、Matsu'ura and Sugaya, 2017）が引用され、隆起の状況を検討するための根拠として活用された（プロジェクト期間内）。

- 原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合（第526回会合）、平成29年11月開催

このほか、以下の原子力規制委員会の新規制基準適合性に係る審査会合においても研究成果（Matsu 'ura and Komatsubara, 2017）が引用されている（プロジェクト期間内）。

- 原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合（第549回会合）、平成30年2月開催
- 原子力発電所の新規制基準適合性に係る審査会合（第579回会合）、平成30年6月開催

➤ 論文等の公表

火山灰層序学的年代評価手法の整備に関しては、6件の査読付き論文を公表した（プロジェクト期間内）。放射性炭素年代測定による隆起年代評価手法の整備に関しては、地形面と年代測定結果の相互関係を精査し、暦年代への変換を行い、その結果から得られた成果について論文として公表する予定（1件）であり、今後の適合性審査において活用が期待される。

5. 成果の公表等

➤ 公表論文

- Matsu'ura, T., Kimura, J., Chang, Q. and Komatsubara, J., “Using tephrostratigraphy and cryptotephrostratigraphy to re-evaluate and improve the Middle Pleistocene age model for marine sequences in northeast Japan (Chikyu C9001C)” , Quaternary Geochronology, 40, pp. 129-145, 2017.
- Matsu'ura, T. and Sugaya, K., “Late Quaternary crustal shortening rates across thrust systems beneath the Ou Ranges in the NE Japan arc inferred from fluvial terrace deformation” , Journal of Asian Earth Sciences, 140, pp. 13-30., 2017.
- Matsu'ura, T. and Komatsubara, J., “Use of amphibole chemistry for detecting tephtras in deep-sea sequences (Chikyu C9001C cores) and developing a middle Pleistocene tephrochronology for NE Japan” , Quaternary International, 456, pp. 163-179., 2017.
- Matsu'ura, T. and Komatsubara, J., “Detection of tephra and cryptotephtras using glass shard chemistry within deep-sea sequences (Chikyu C9001C cores), NW Pacific Ocean: a case study for developing Late Pleistocene marine tephrostratigraphy” , JAMSTEC Rep. Res. Development, 26, pp. 1-20., 2018.
- Matsu'ura, T., Komatsubara, J. and Ahagon, N., “Using Late and Middle Pleistocene tephrostratigraphy and cryptotephrostratigraphy to refine age models of Holes ODP1150A and ODP1151C, NW Pacific Ocean: A cross-check between tephrostratigraphy and biostratigraphy” , Quaternary Geochronology, 47, pp. 29-53., 2018.
- Matsu'ura, T., Komatsubara, J. and Wu, C., “Accurate determination of the Pleistocene uplift rate of the NE Japan forearc from the buried MIS 5e marine terrace shoreline angle” , Quaternary Science Reviews, 212, pp. 45-68., 2019.

➤ 学会発表

- 内田淳一、佐津川貴子、 “三浦半島城ヶ島及び荒崎に分布する離水生物遺骸群集から得られた放射性炭素年代の特徴”、日本活断層学会2018年度秋季学術大会、P-23、2018.
- 内田淳一、佐津川貴子、 “足摺岬及び屋久島に分布する離水生物遺骸群集から得られた放射性炭素年代の特徴”、日本活断層学会2019年度秋季学術大会、P-9、2019.

6. 成果目標に対する達成状況

(1) 活断層に起因する内陸地殻内地震の履歴に関する評価手法の整備

下記のとおり、平成29年度から令和元年度までの実施期間の目的を全て達成した。

- 浅海域における古地震履歴評価手法の整備：断層を挟んだ2点間のコアで完新統（完新世の地層）を対象に微化石分析等を実施した結果、複数の層準を対比することができた。2点間の層厚の差異は地震時の隆起・沈降の傾向を反映していると考えることができ、完新統のコアを対象にした断層変位指標の検出に微化石分析等が有用であることを示した。
- イベント堆積物を用いた古地震履歴評価手法の整備：断層近傍のコアで完新統を対象に帯磁率測定及び微化石分析を実施した。その結果、帯磁率変化のピーク対比と花粉群集変化を組み合わせることで、近傍コアとの対比面が多く得られ、イベント堆積物の対比に本手法が有用であることを示した。
- 火山灰層序学的年代評価手法の整備：深海底堆積物（ちきゅうC9001Cコア）及び陸域堆積物に含まれる火山灰（テフラ）の対比を検討した。その結果、中期更新世以降のテフラ年代を高精度に決定するとともに、深海底堆積物中のテフラと陸成堆積物中のテフラとを対比することができ、断層変位指標である海成段丘の年代評価に信頼性の高いテフラ年代を活用できる見通しを得た。

(2) プレート間地震の履歴に関する評価手法の整備

下記のとおり、平成29年度から令和元年度までの実施期間の目的を全て達成した。

- 放射性炭素年代測定による隆起年代評価手法の検討：離水海岸地形の高度分布及びその年代を検討した。その結果、既知の地震による離水海岸地形の妥当な年代値を得た。さらに、酸処理濃度及び年代測定試料の対象の違いが放射性炭素年代測定の結果に与える影響を把握した。
- 宇宙線生成核種による隆起年代評価手法の整備の検討：宇宙線生成核種を用いることで離水海岸地形の年代を推定し、隆起年代評価に本手法が適用できる可能性を示した。また、数千年前に形成された比較的若い隆起海岸地形においても、測定の際のバックグラウンドを低減することによって、宇宙線照射により生成した核種を検出できることが分かった。

7. 今後の展開

- イベント堆積物を用いた地震履歴評価にあたっては、コア間の対比精度を高めることはもちろんのこと、年代評価を実施することが重要である。そこで、令和2年度以降の新規プロジェクトでは、震源域近傍において採取された利用可能な海洋堆積物コアを用いてイベント堆積物を抽出し、微化石分析等の対比イベントも含めた年代評価の精緻化を図る。
- これまでに東北日本を対象に、深海底コア（堆積物）中に挟まれる年代決定精度の高い広域火山灰を指標にして、コア深度を年代に変換する「年代モデル」の信頼性を向上させ、陸域の地域的火山灰の年代を高精度で決定した。令和2年度以降の新規プロジェクトでは、同様の知見を西南日本へ拡充し、断層変位指標(地形面・地層)を編年するために、西南日本近海の信頼性の高い「年代モデル」を陸域の地域的火山灰に付帯させ、海域・陸域の地域的火山灰を対比する手順に関する知見を蓄積する。
- 離水海岸地形の年代を推定する手法として、宇宙線生成核種を用いる方法が適用できる可能性が示されたが、測定誤差が大きいこと、測定対象が限定的であるという課題がある。そこで、令和2年度以降の新規プロジェクトでは、他核種の宇宙線生成核種を用いた年代測定を、花崗岩以外の岩種や、完新世の離水海岸地形のみならずより年代の古い段丘面を対象に実施し、評価に有用な知見を拡充する。

文 献

- Domitsu, H., Uchida, J., Ogane, K., Dobuchi, N., Sato, T., Ikehara, M., Nishi, H., Hasegawa, S. and Oda, M., “Stratigraphic relationship between the last occurrence of *Neogloboquadrina inglei* and marine isotope stages in the northwest Pacific, D/V Chikyu expedition 902, hole C9001C”, *Newsletters on Stratigraphy*, 44, 113-122, 2011.
- 桑原拓一郎、“下北半島北部に分布する正津川軽石流堆積物のジルコン・フィッショントラック年代”、地質学雑誌、112、294-297、2006.
- 桑原拓一郎、山崎晴雄、“テフラから見た最近45万年間の恐山火山の噴火活動史”、火山、2、37-52、2001.
- Lisiecki, L.E., Raymo, M.E., “A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}O$ records”, *Paleoceanography*, 20, PA1003, 2005.
- 前杵英明、“足摺岬周辺の離水波食地形と完新世地殻変動”、地理科学、43、231-240、1988.
- Matsu'ura, T., Furusawa, A., Shimogama, K., Goto, N. and Komatsubara, J., “Late Quaternary tephrostratigraphy and cryptotephrostratigraphy of deep-sea sequences (Chikyu C9001C cores) as tools for marine terrace chronology in NE Japan”, *Quaternary Geochronology*, 23, 63-79, 2014.
- Matsu'ura, T., Kimura, J.-I., Chang, Q. and Komatsubara, J., “Using tephrostratigraphy and cryptotephrostratigraphy to re-evaluate and improve the Middle Pleistocene age model for marine sequences in northeast Japan (Chikyu C9001C)”, *Quaternary Geochronology*, 40, 129-145, 2017.
- Matsu'ura, T., and Komatsubara, J., “Use of amphibole chemistry for detecting tephras in deep-sea sequences (Chikyu C9001C cores) and developing a middle Pleistocene tephrochronology for NE Japan”, *Quaternary International*, 456, 163-179, 2017.
- 東京大学、“平成30年度原子力施設等防災対策等委託費（宇宙線生成核種を用いた隆起海岸地形の離水年代評価に関する検討）事業 報告書”、2019.
- 東京大学、“平成31年度原子力施設等防災対策等委託費（海域における地震発生履歴評価のための指標に関する検討）事業 報告書”、2020.
- 内田淳一、佐津川貴子、“足摺岬及び屋久島に分布する離水生物遺骸群集から得られた放射性炭素年代の特徴”、日本活断層学会2019年度秋季学術大会 講演予稿集、P-9、2019.

地震ハザード評価の信頼性向上に関する研究 事後評価 説明資料

令和2年4月

原子力規制庁長官官房技術基盤グループ

地震・津波研究部門

目次

1. 研究概要
 2. 研究期間を通じた主要成果
 3. まとめ
 4. 成果の活用について
 5. 成果の公表等
 6. 成果目標に対する達成状況
 7. 今後の展開
- 文献

1. 研究概要 (1) 背景

平成25年7月に施行された新規制基準及び審査ガイドでは、基準地震動を策定するに当たって、各種の不確かさの考慮や最新知見の反映等により、「敷地ごとに震源を特定して策定する地震動」及び「震源を特定せず策定する地震動」について適切な評価を行うことを求めている。このため、最新の研究動向を踏まえつつ地震の規模やその不確かさを適切に評価するために震源特性に関わる知見を継続的に蓄積していくとともに、震源と活断層を関連付けることが困難な内陸地殻内地震等による強震動記録を活用し、震源を特定せず策定する地震動のレベルを把握することが重要である。

また、平成25年12月施行の「実用発電用原子炉の安全性向上評価に関する運用ガイド」では、新規制基準を適用したプラントの安全性向上を評価することを求めており、評価方法の一つに「外部事象に係る確率論的リスク評価(PRA)」が挙げられている。外部事象PRAでは、地震は寄与度が高い事象の一つであり、特に震源が敷地に近い場合、地震動の影響をより精緻に評価するための断層モデルに基づく地震ハザード曲線を用いることが適切である。このため、特性化震源モデルとの整合性を踏まえた上で、断層モデル法に基づく地震ハザード解析に用いる震源断層パラメータ及びその不確かさの取扱方法を明確にするとともに、断層変位の評価に係る知見を蓄積することが重要である。

1. 研究概要 (2) 目的

本研究は、関連審査ガイド及び安全性に係る評価の高度化に資するため、また、将来の規制活動への反映に向けた科学的・技術的知見を蓄積するため、平成29年度から令和年度に渡り、以下の研究課題((1)~(4))に取り組んだ。

(1) 断層モデルを用いた地震動評価手法の整備

内陸地殻内地震、プレート間地震及び海洋プレート内地震について震源断層パラメータ及び不確かさに着目して、それぞれの地震の中から観測記録が得られたものを対象に地震動の評価手法の検討を行うことにより、断層モデルを用いた手法の精度向上を図る。また、2016年熊本地震を対象に、内陸地殻内地震の断層長さに係る調査手法の適用性について検討する。

(2) 震源を特定せず策定する地震動に関する検討

震源を特定せず策定する地震動に関する検討を行い、震源近傍での地震基盤相当面における標準応答スペクトルを設定する。

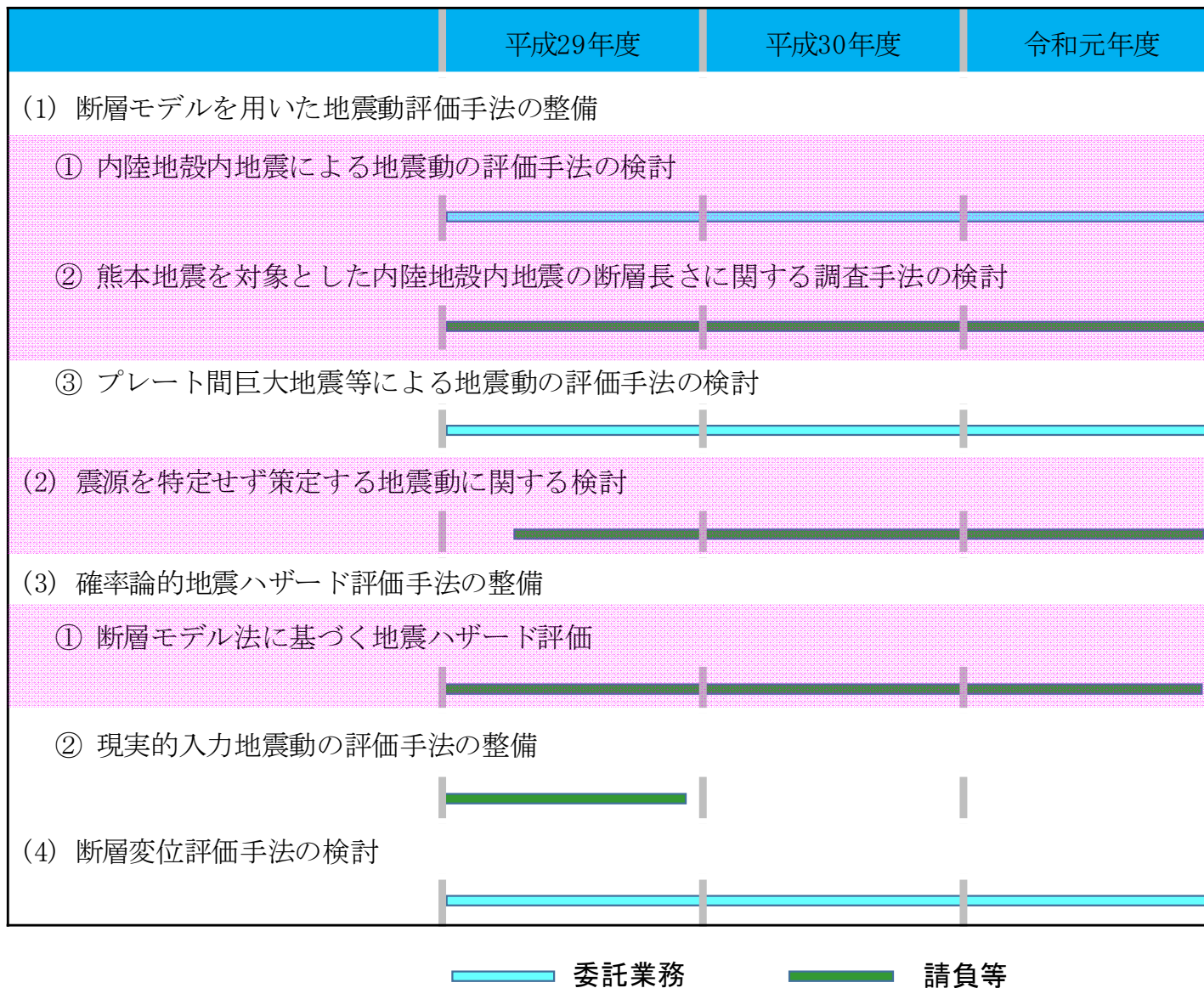
(3) 確率論的地震ハザード評価手法の整備

地震ハザード曲線作成における震源断層パラメータ及びその不確かさの取扱い方法を検討し、断層モデルによる確率論的地震ハザード評価手法を整備する。また、サイト特性に基づく現実的な入力地震動の評価手法を検討し地盤の伝播特性に係る応答係数の精緻化を図る。

(4) 断層変位評価手法の検討

断層変位として特に識別可能な副断層に着目し、数値解析等に基づく決定論的な断層変位評価手法及び断層変位距離減衰式に基づく確率論的な断層変位評価手法の適用性を検討する。

1. 研究概要 (3) 研究工程



2. 研究期間を通じた主要成果

(1) 断層モデルを用いた地震動評価手法の整備

① 内陸地殻内地震による地震動の評価手法の検討

a. 実施内容

国内の内陸地殻内地震を対象に、地下構造モデルの高度化、震源過程解析及び強震動生成域（SMGA）モデルの構築を実施するとともに、2016年熊本地震の知見の反映として、浅部断層破壊のモデル化に関する検討を行った。さらに、得られたSMGAモデル等を基に、特性化震源モデルにおけるスケーリング則の検証を実施し、震源断層パラメータの不確かさの考慮による地震動評価への影響度を把握した（図1-1）。

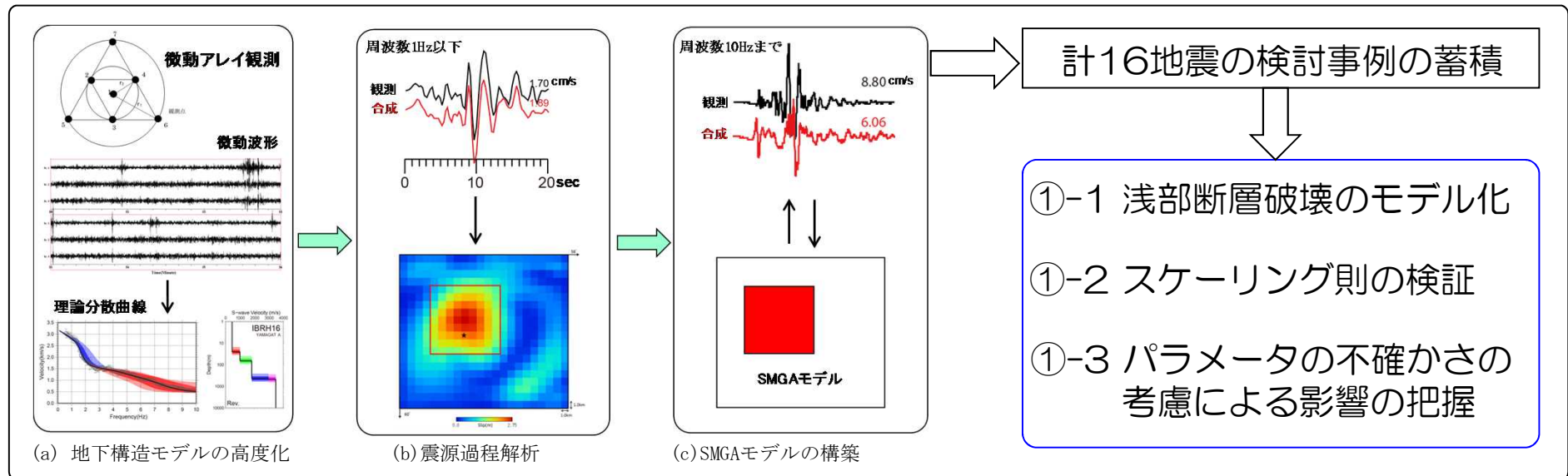


図1-1 本項目の検討流れ

b. 成果概要 (①-1 浅部断層破壊のモデル化)

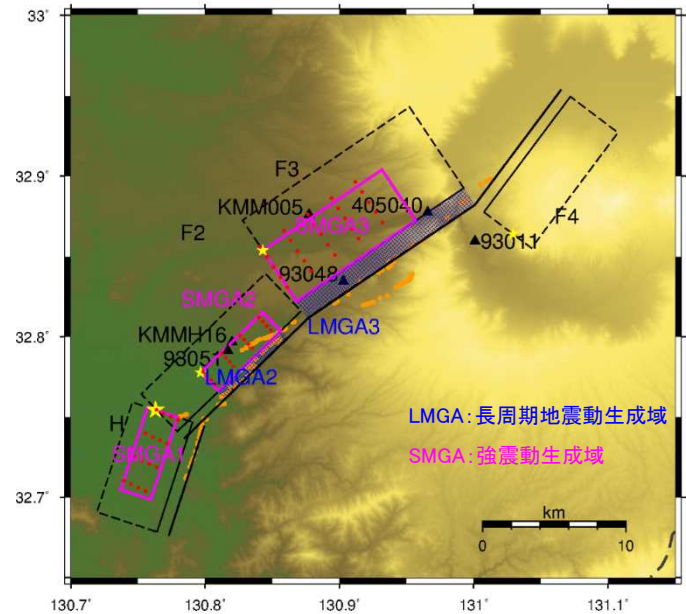
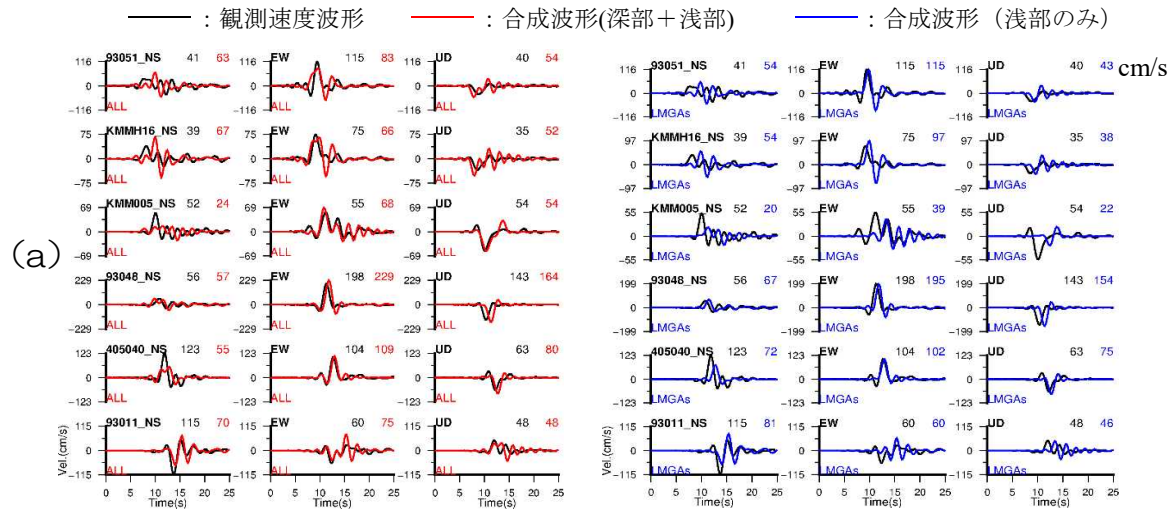


図1-2 断層モデルの地表投影

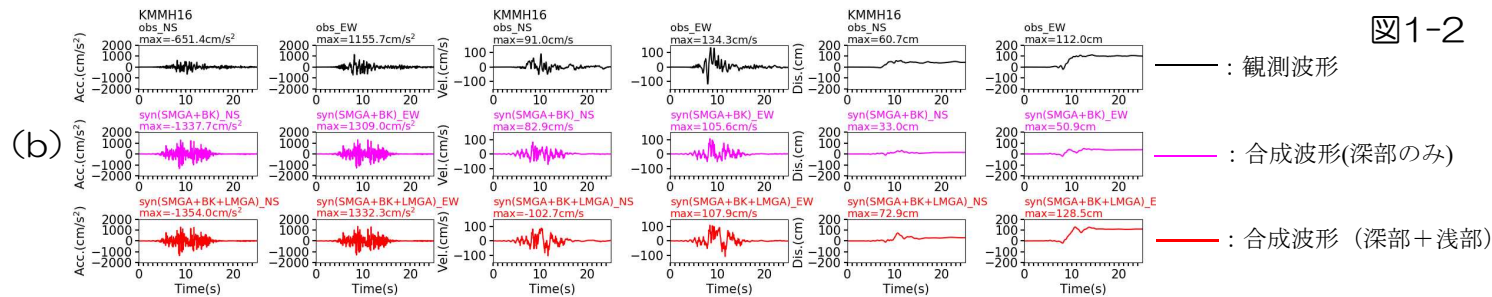
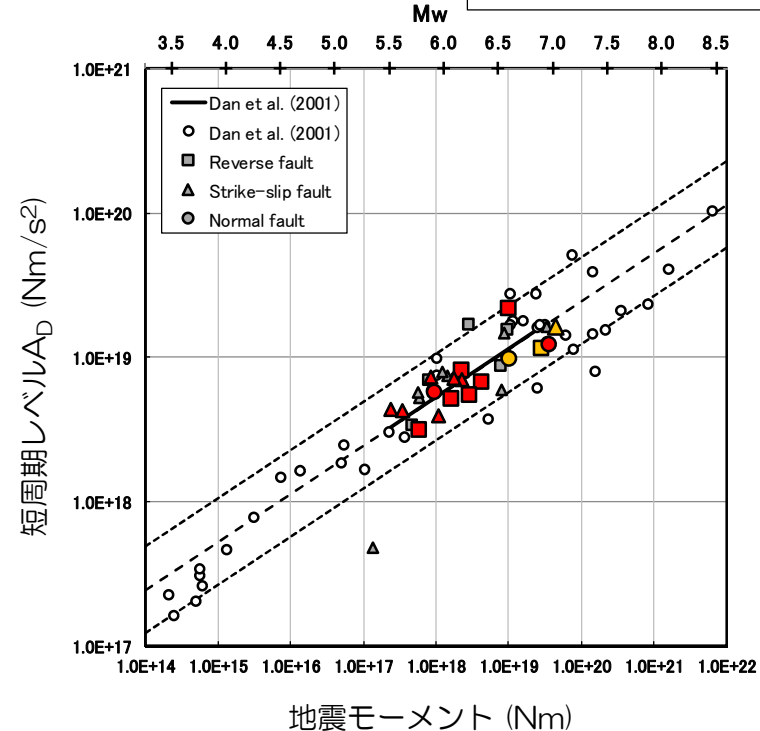
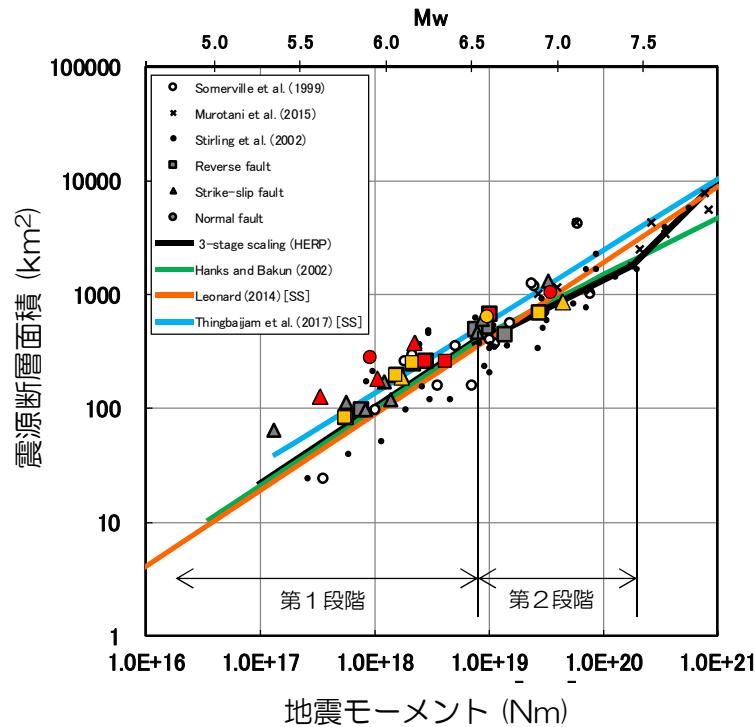


図1-3 観測と合成波形の比較 (a) 速度波形、(b) 加速度(左)・速度(中)・変位波形(右)

- 長周期地震動：活断層のトレースからやや離れた評価点(KMM05)は、浅部LMGAの寄与はほとんどない一方、そのトレースに近い評価点(93048)は、LMGAの寄与が支配的であり、浅部断層破壊の考慮が重要である(図1-3(a))。
- 短周期地震動：従来のモデルは十分に説明できており、LMGAの考慮による影響がほぼ無視できる(図1-3(b)に示す左辺の加速度波形)。

b. 成果概要 (①-2 スケーリング則の検証)

赤印：本研究解析データ
黄印：本研究解析データを含めた平均値
灰印：本研究文献調査によるデータ



(a) 震源断層面積と地震モーメントのスケーリング則

(b) 短周期レベル(A_D)と地震モーメントのスケーリング則

図1-4 スケーリング則との比較

- 震源断層の面積は、地震本部強震動予測レシピのスケーリング則に比べて、自己相似の第1段階ではやや大きめになっているが、断層幅の飽和に対応した第2段階では、整合性が良い (図1-4(a))。
- 短周期レベル(A_D)データは、レシピのスケーリング則と良く整合している (図1-4(b))。

b. 成果概要 (①-3 パラメータの不確かさの考慮による影響の把握)

表1-1 不確かさの考え方

不確かさを考慮するパラメータ	不確かさの考え方 (基本モデルに比べ)
(基本モデル)	—
1 アスペリティの応力降下量	基本モデルを 1.32 倍する 基本モデルを 1.32 で除する
2 ライズタイム	短くする(短周期 $\alpha=0.13$ 、長周期 $\alpha=0.4$) 長くする(短周期 $\alpha=0.33$ 、長周期 $\alpha=0.6$)
3 アスペリティの位置(深さ方向)	アスペリティ上端を断層上端まで浅くする アスペリティ下端を断層下端まで深くする
4 破壊伝播速度	速くする ($V_f=0.87\beta$) 遅くする ($V_f=0.69\beta$)
5 地震発生層の上端深さ	浅くする (1km) 深くする (3km)
6 高周波数遮断特性 (f_{max})	7 地震の平均モデル 香川 2003 モデル

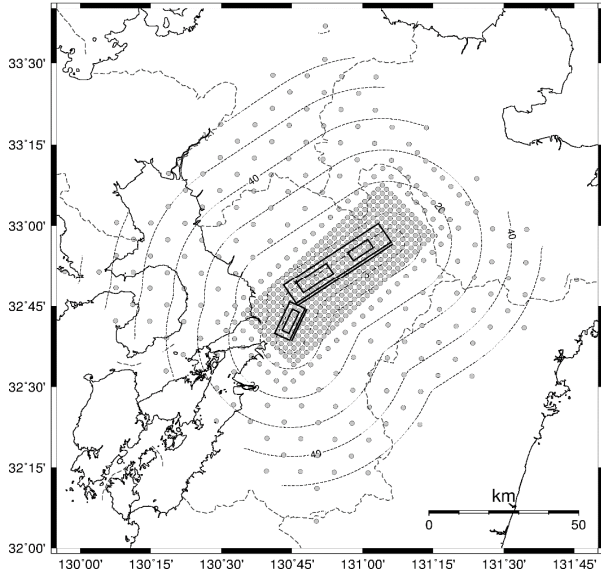


図1-5 断層モデル及び評価点分布図

➤ 表1-1に挙げられたパラメータにおける不確かさの設定を検討し、地震動評価を行い、それらの不確かさによる影響を分析した。

- アスペリティの応力降下量の不確かさは平均的な影響が最も大きく、支配的なパラメータである(図1-6:「全距離」)。
- 震源に近い評価点(5km以内)では、アスペリティ位置による影響が最も大きい(図1-6:「0-5km」)。

【まとめ】国内の内陸地殻内地震の地震動再現解析等により、特性化震源モデルにおけるスケージング則、及び断層浅部破壊のモデル化に関する知見を得た。さらに、震源断層パラメータの不確かさの考慮による地震動評価への影響度を把握し、断層モデル法における不確かさの取扱いの方法に関する知見を得た。

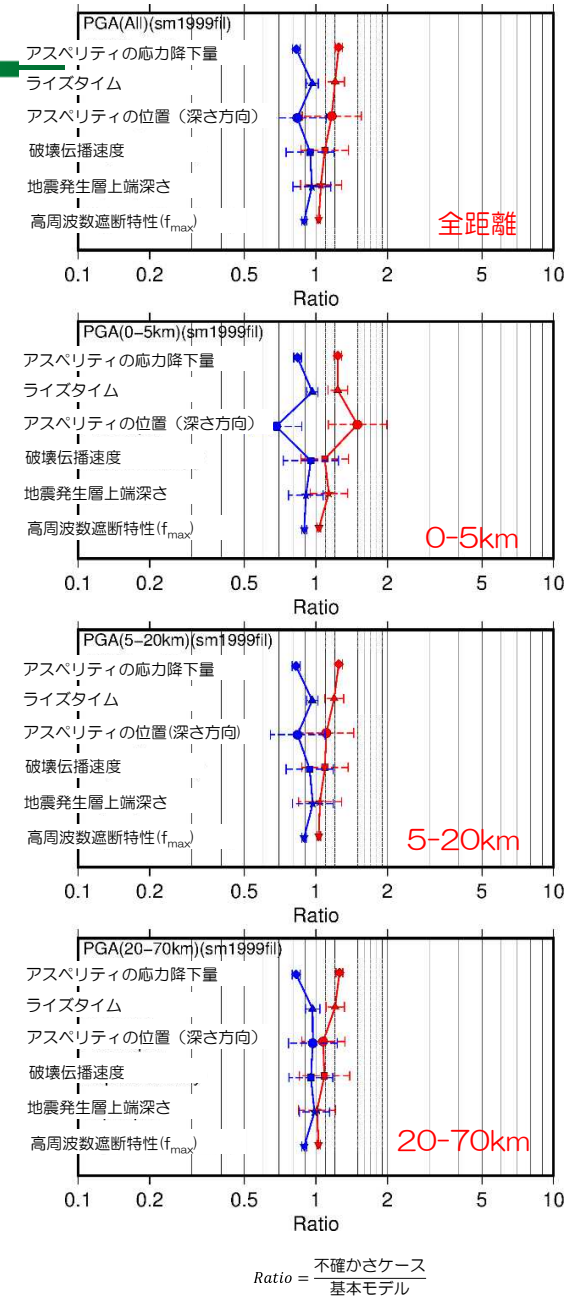


図1-6 最大加速度への影響度の比較

②熊本地震を対象とした内陸地殻内地震の断層長さに関する調査手法の検討

a. 実施内容

内陸地殻内地震が発生した活断層において、断層端部の地質構造の特徴を捉え、震源断層評価に有効な知見を得ることを目的として、布田川断層帯の北東延長域である阿蘇カルデラ内部において地質調査（ボーリング調査）、地球物理学的調査（重力データ解析・反射法地震探査等）を実施し、得られたデータから断層長を検討した。

b. 成果概要（1/2）

➤ 反射法地震探査の結果

- 複数測線を実施した結果、いずれも、深度200~400m付近に連続性の良い強い反射面が認められる。Aso17-1~Aso18-2の間の各測線の強反射面において、明瞭な不連続部、又は局所的な隆起やたわみが確認されている。

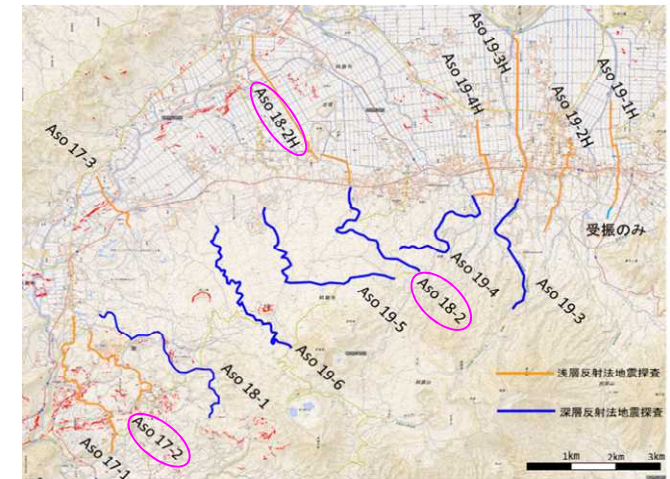


図1-7 反射法地震探査の測線図

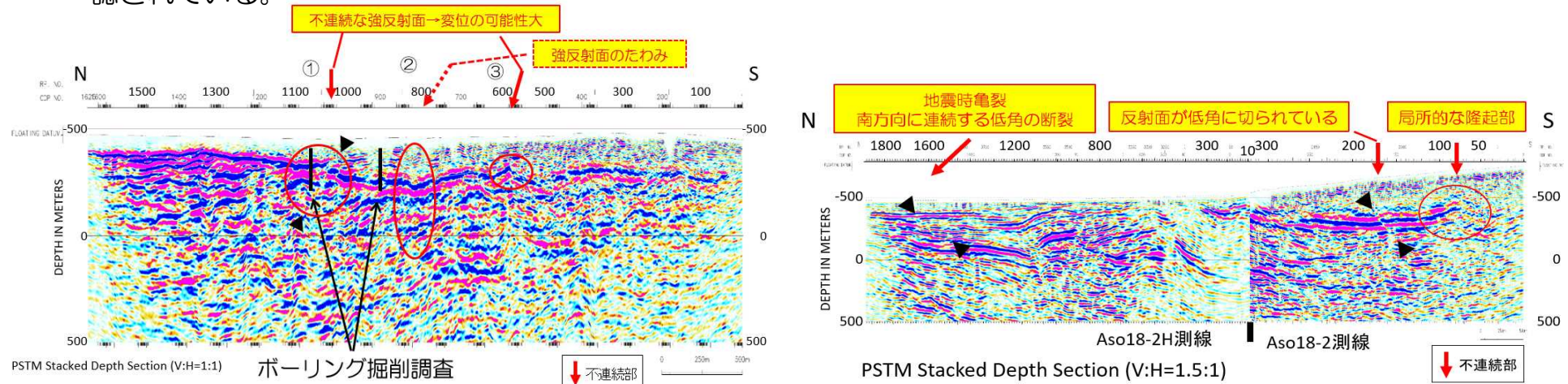
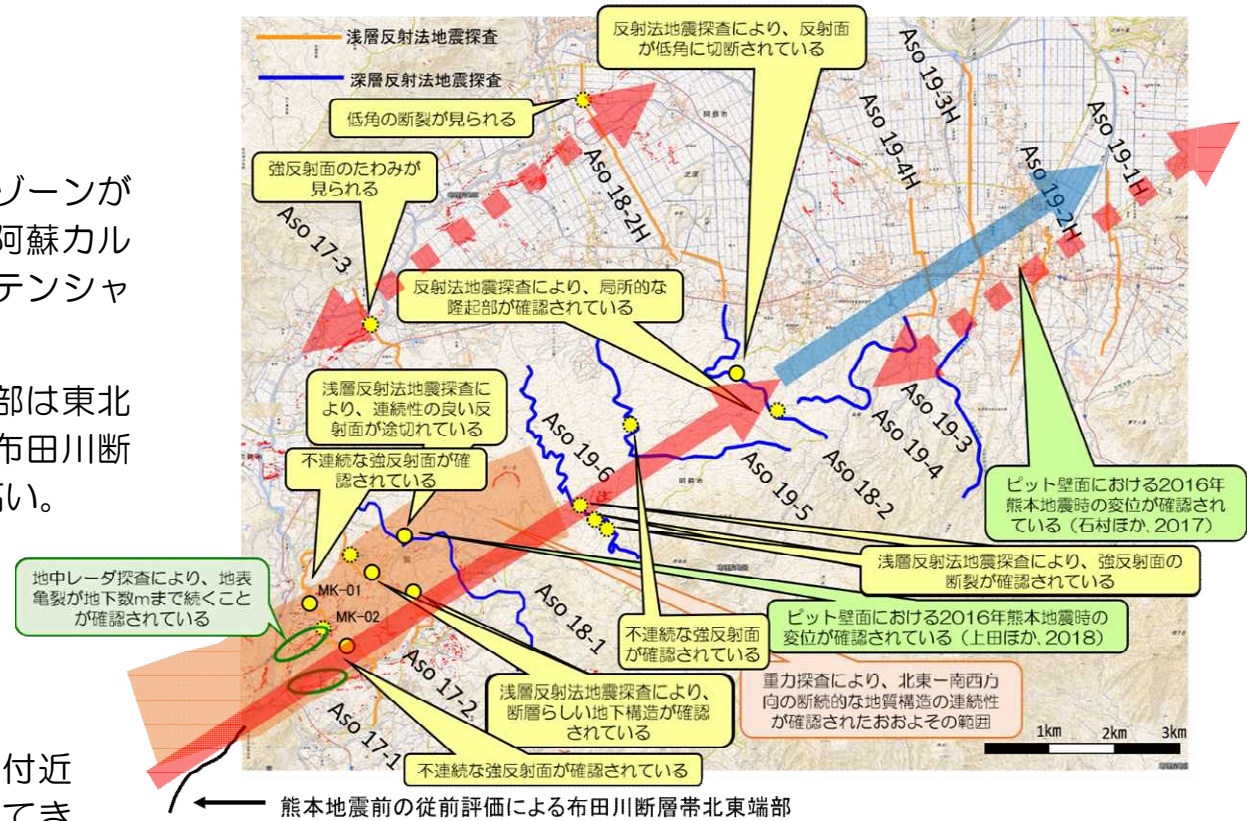


図1-8 Aso17-2(左)及びAso18-2(右)測線重合前時間マイグレーション深度断面図

b. 成果概要 (2/2)

➤ 総合解釈の結果

- 重力データの解析：構造が変化するゾーンが連続的に確認でき、布田川断層帯が阿蘇カルデラを北東-南西方向に横断するポテンシャルを有していると考えられる。
- 反射法地震探査：強反射面の不連続部は東北東-西南西方向に連続して出現し、布田川断層帯の北東延長部にあたる可能性が高い。
- 一方、北東のAso19-2H測線及びAso19-1H測線では、断層等が疑われるような構造の不連続部は認められなかった。
- 過去の活動履歴を踏まえると、宮地付近で確認された断層は、これまで述べてきた布田川断層帯の北東延長とは違い、2016年熊本地震時に受動的に動かされたか、または別のセグメントを構成している可能性がある。



赤矢印が活動可能性のある断層として評価すべき範囲。青矢印は、活動可能性のある断層として認定可能な範囲。破線矢印は強反射面の断裂や地表の亀裂は認められるものの、布田川断層延長と明確には断定できない範囲をそれぞれ表す。

図1-9 各種解析結果の整理及び震源として考慮する活断層の評価

【まとめ】：複数調査手法を用いた複数測線の結果から、少なくとも従来の布田川断層北東端部からAso18-2測線までは一連の断層とみるべきであり、さらに断層端部の不確かさを数km（概ね5km）考慮することにより、震源過程解析から得られた震源断層を概ね説明できる。

(2) 震源を特定せず策定する地震動に関する検討

a. 実施内容

「震源を特定せず策定する地震動」のうち「地表地震断層が出現しない可能性がある地震」（Mw6.5程度未満の地震）について、下記検討を行い、「標準応答スペクトル」を策定した（図2-1）。

① 内陸地震(Mw5.0～6.5程度)の観測記録の収集・整理： 2000年～2017年、18年間の該当地震を対象

② はぎとり解析

- 解析手法：PS検層による地盤モデルに加え、複数減衰モデルから最適減衰定数を選定した線形解析

- 地盤に非線形性が生じている観測記録に対して、下記3手法によるはぎとり解析の結果を比較した結果、解析手法がはぎとり波に与える影響は小さいことが分かった。

- 本検討が採用した手法

- 等価線形解析

- 地盤同定モデルを用いた線形解析

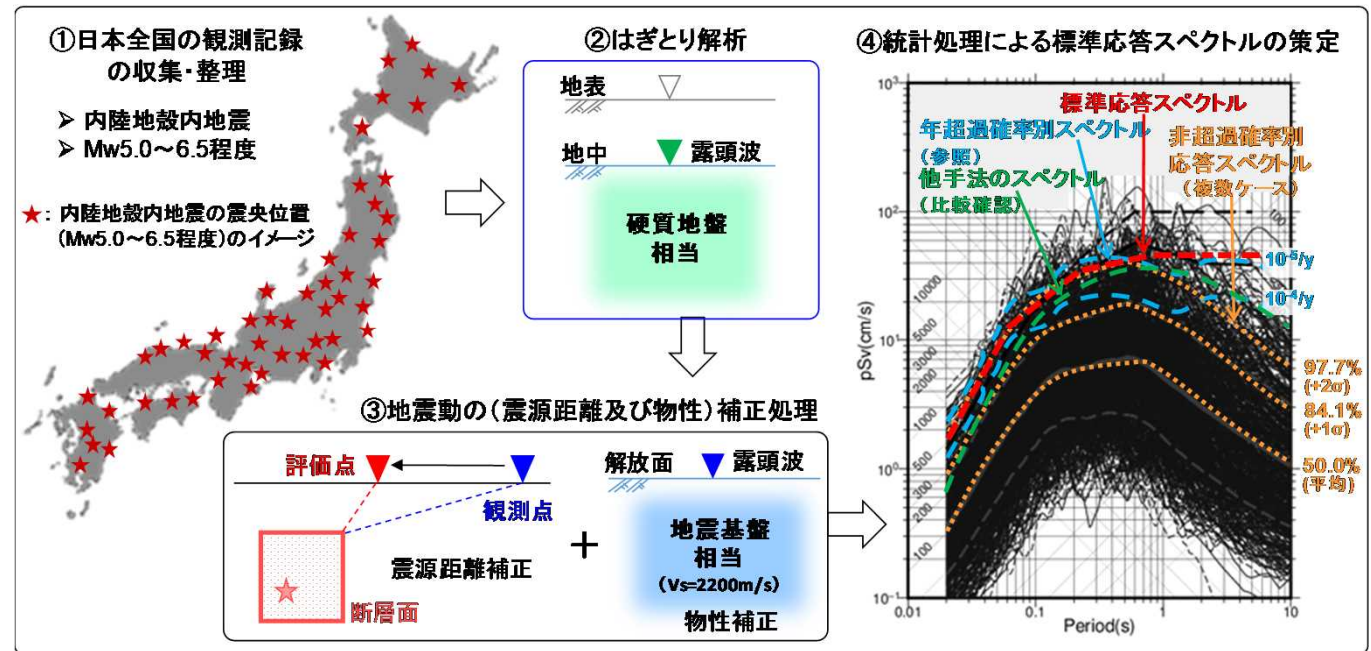


図2-1 全国共通に考慮すべき「震源を特定せず策定する地震動」策定の概念図

③ 地震動の（震源距離及び物性）補正処理

- 震源距離補正：震源距離5km以内までに震源を移動させ、先行研究の距離減衰式を用いて距離補正を行う。
- 地盤物性補正：地盤増幅倍率の経験式（Noda et al. 2002）によるVs=2200km/s相当の地盤に補正する。

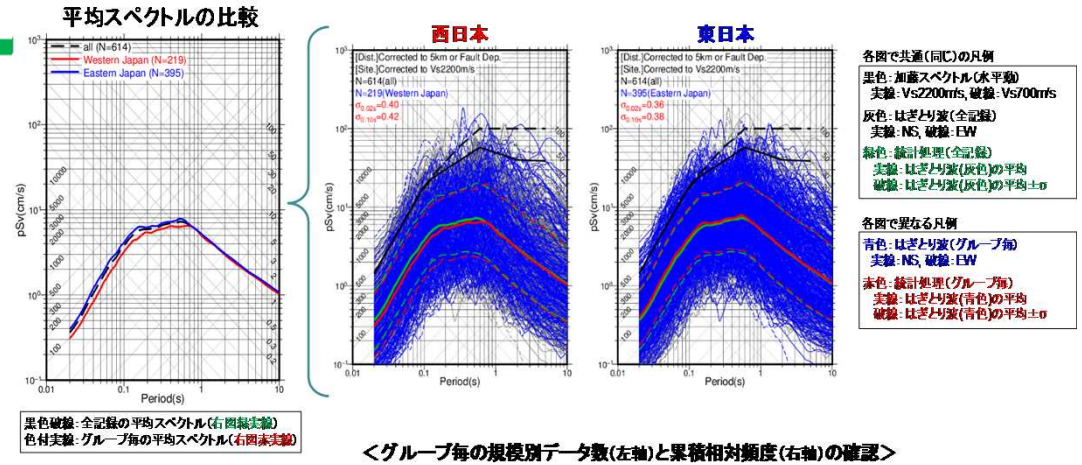
④ 統計処理による標準応答スペクトルの策定

- データセットの不確かさによる影響を確認するため、得られた多数の応答スペクトルに対して、活動地域や断層タイプ等に関連する地震特性、又は地震計位置に関連するサイト特性等に関する情報を基にグループ分けを行い、グループ毎の応答スペクトルの特徴を比較した。
- 【比較例】：「地震活動地域」によるグループ分け（図2-2）を検討した。その結果、東日本と西日本のそれぞれの平均スペクトルの短周期側がやや異なっているものの、データセット（データ数）に極端又は非現実的な偏り等が生じていないことを確認した。

b. 成果概要

【まとめ】

- 地震規模Mw5.0~6.5程度の記録を対象として、非超過確率97.7%の応答スペクトルを基に、「標準応答スペクトル」を設定した（図2-3）。
- 「標準応答スペクトル」は、基準地震動として新たに規制に反映されることになった（令和元年8月24日第24回原子力規制委員会）。



<グループ毎の規模別データ数(左軸)と累積相対頻度(右軸)の確認>

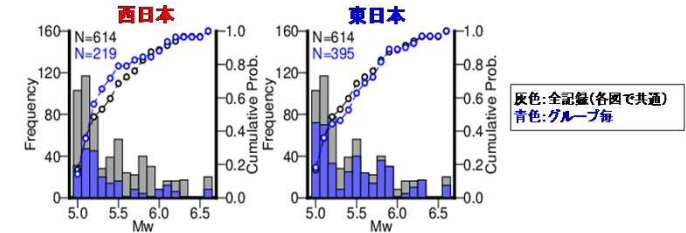


図2-2 地震活動地域（西日本、東日本）毎の応答スペクトルの比較

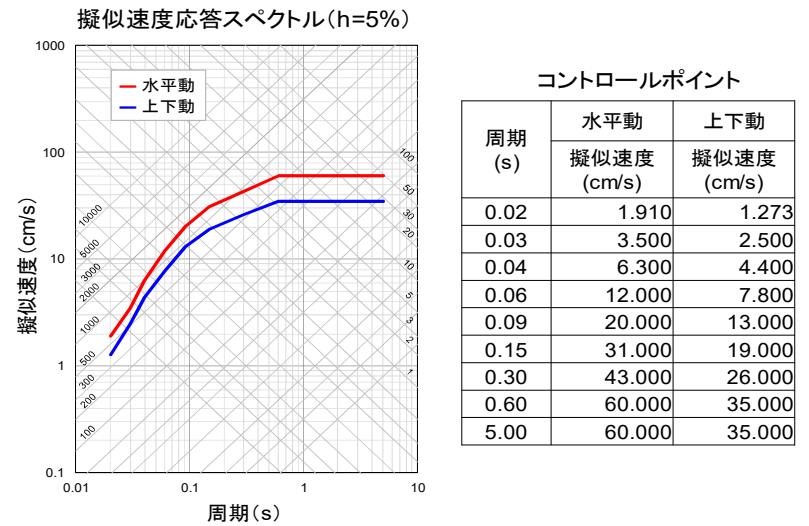


図2-3 地震基盤相当面における標準応答スペクトル

(3) 確率論的地震ハザード評価手法の整備

① 断層モデル法に基づく地震ハザード評価

a. 実施内容

- 下記2タイプの断層による M_w 6.6の地震を想定し、地震本部のレシピに基づきそれぞれの特性化震源モデルを構築した。
 - 横ずれ断層
 - 逆断層
- 特性化震源モデルのパラメータのうち、地震動に与える影響が大きい5つのパラメータを選定し、それらパラメータの確率分布モデルを検討した（表3-1）。
- それら確率分布モデルを基に、ばらつきを与えた不確かさケース（表3-1）及び与える重みの設定（図3-1）を検討し、断層モデル法による地震動評価を行った。
- 計算地震動のばらつきを推定し、選定した複数のパラメータに不確かさを考慮した確率論的地震動評価の影響度を検討した。

表3-1 検討対象パラメータ及び不確かさのモデル化

パラメータ	不確かさの分布	ばらつき範囲	不確かさ(通り)
破壊伝播速度 (V_r/V_s)	正規分布 0.78 ± 0.09	$-3\sigma \sim 3\sigma$	7
アスペリティの応力降下量 $\log_{10}(A_F/A_D)$	正規分布 0.0 ± 0.12	$-3\sigma \sim 3\sigma$	7
ライスタイム $\log_{10}(\alpha/0.22)$	正規分布 0.0 ± 0.15	$-3\sigma \sim 3\sigma$	7
アスペリティ位置	断層面内に一様に配置	-	9
破壊開始点	アスペリティ位置 下端に一様配置	左端、中央、 右端	3

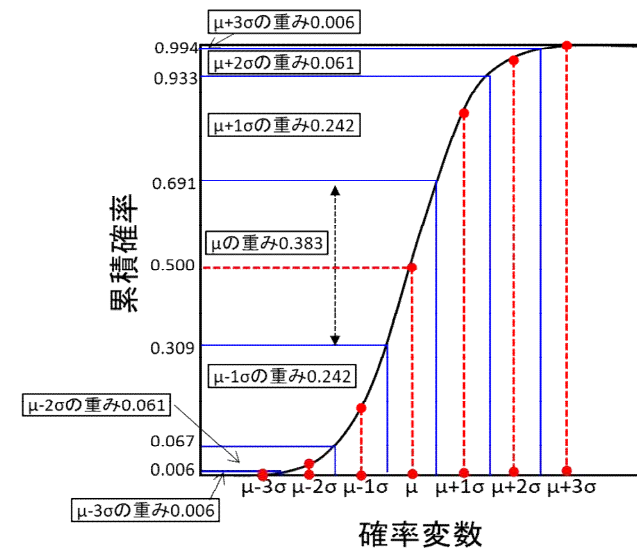


図3-1 不確かさパラメータの各代表点に与える重み

b. 成果概要

- 応力降下量は評価地点全体の地震動の大きさに影響を及ぼし、地震動の大きさには正の相関がある。ライズタイムは、負の相関が見られる(図3-2)。
- 重み付け平均値と距離減衰式の比較では、いずれの評価地点においても、距離減衰式の中央値は概ね重み付け平均値 $\pm\sigma$ の範囲内に収まり(図3-3)、検討された震源モデルの妥当性を示唆した。
- 各不確かさケースによる応答スペクトルの重み付け標準偏差は、1秒以下の短周期側が既往研究(Morikawa et al., 2008; 引田・他, 2018)による単一サイトの標準偏差(single-station σ)と同程度であり(図3-3)、震源特性に起因する地震動ばらつきの真の値に近いと考えられる。

まとめ：特性化震源モデルのパラメータのうち、地震動に与える影響が大きいパラメータを選定し、既往研究結果を基にそれらパラメータ分布のモデル化に関する知見が得られた。さらに、検討対象パラメータにばらつきを与えた断層モデルを構築し地震動解析を行い、確率論的地震動評価の影響度を把握した。

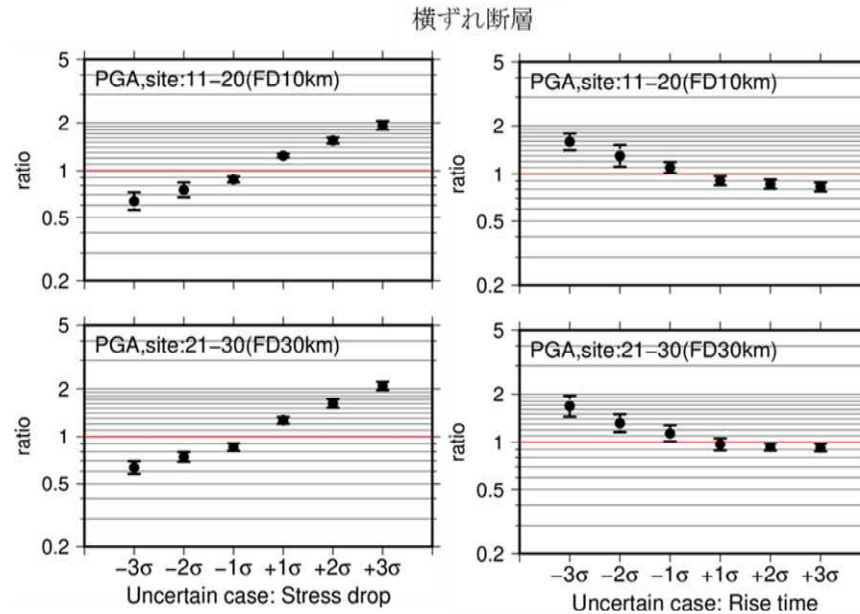


図3-2 応力降下量及びライズタイムの不確かさによる影響

— : 応答スペクトル(計算値)
— : 重み付け平均値
- - - : 重み付け標準偏差
— : 距離減衰式の中央値

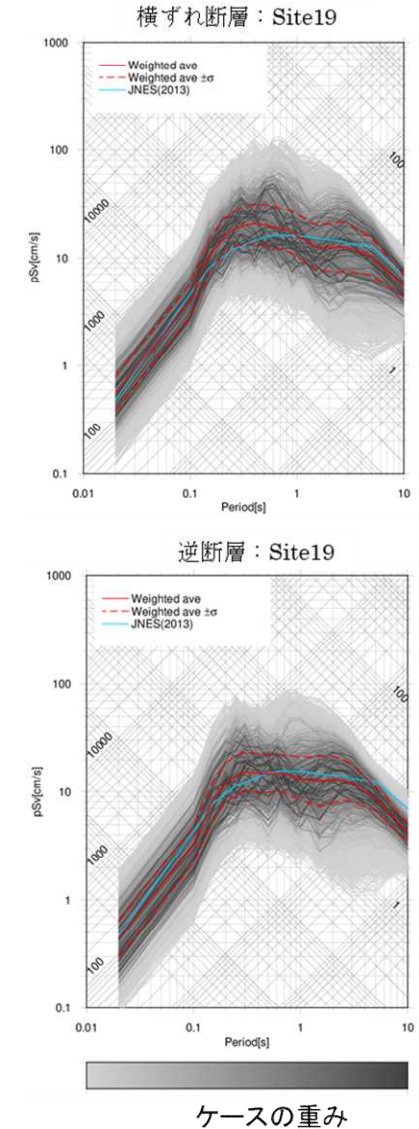


図3-3 擬似速度応答スペクトルの比較

3. まとめ

- **断層モデルを用いた地震動評価手法の整備：**
 - 内陸地殻内地震を対象とした地震動再現解析等を実施することにより、震源断層パラメータの既往経験式との整合性やばらつき分布に関する知見を蓄積した。特に、断層が地表に現れた地震に対して、表層の断層破壊の考慮により、断層極近傍の永久変位を含めた地震動の再現性を確認するとともに、震源断層パラメータの不確かさのモデル化を検討し、地震動評価への影響度を把握した。
 - 熊本地震で明瞭な地表地震断層の現れた布田川断層帯の北東延長域である阿蘇カルデラ内部において、ボーリング調査や反射法地震探査等の地質学・地球物理学的調査を実施した結果、地震動解析等で得た震源断層長と同程度の断層長を推定できた。
 - 国外で起きたプレート間巨大地震や海洋プレート内地震の震源特性に関する知見を得るために、強震動再現解析を行い、それぞれの地震タイプにおける断層モデル法の適用性を確認した。
- **震源を特定せず策定する地震動に関する検討：**震源と活断層を関連付けることが困難な地震を対象に、地震動観測記録を用いた地震基盤相当面における非超過確率別応答スペクトルを求め、それを基に全国共通に考慮すべき「震源を特定せず策定する地震動」の標準応答スペクトルを設定した。
- **確率論的地震ハザード評価手法の整備：**特性化震源モデルのパラメータのうち、地震動に与える影響が大きいパラメータを選定し、それらにばらつきを与えた断層モデルを構築し地震動解析を行い、確率論的地震動評価の影響度を把握した。また、地震PRAにおける現実的入力地震動の評価手法を検討するため、地震動観測記録に基づき、地盤の伝播特性に係る応答係数の分析を行い、応答係数の平均値及びばらつきに関する技術的な知見を得た。
- **断層変位評価手法の検討：**決定論的断層変位評価手法に関しては、衛星観測データの活用及びトレンチ調査の実施により、主断層トレースから離れた副断層の形状を把握した。確率論的手法に関しては、最新データを用いて副断層変位評価式を更新し、断層変位ハザードに係る知見を得た。

4. 成果の活用について

▶ 基準・ガイドへの反映

本研究の項目「(2) 震源を特定せず策定する地震動に関する検討」の研究成果は、原子力規制委員会が設置した「震源を特定せず策定する地震動に関する検討チーム」における議論及び全国共通に考慮すべき「震源を特定せず策定する地震動」の「標準応答スペクトル」の策定において活用された（プロジェクト期間内）。この標準応答スペクトルについては、令和元年8月28日の第24回原子力規制委員会において、「震源を特定せず策定する地震動（全国共通）」として規制に取り入れられることが決定し、「実用発電用原子炉及びその附属施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則の解釈」及び審査ガイド等の改訂に活用される予定である。

▶ 論文等の公表

基準地震動を策定するための地震動評価に当たって、各種の不確かさによる地震動評価への影響の分析及び、必要に応じた不確かさの組み合わせを考慮することが求められている。そのため、本研究は、2016年熊本地震の知見を踏まえて、震源極近傍の地震動の評価手法に係る知見を蓄積するとともに、地震動解析結果を基に、震源断層モデルのパラメータの不確かさを検討し、それらの不確かさを考慮することによる地震動評価への影響等についての知見が得られた。本研究の成果については、基準地震動策定の妥当性確認等において知見の拡充として考慮されるようにNRA技術報告等としてまとめる予定である。

また、特性化震源モデルのパラメータのうちの高周波数遮断特性等に関して、3件の査読付き論文を公表した。震源を特定せず策定する地震動の検討に関して、検討チームで挙げられた課題等について検討を予定しており、その検討結果を含める成果について論文として公表する予定（1件）である。これらのNRA技術報告及び論文は、今後の適合性審査において活用が期待される。

5. 成果の公表等

➤ 公表論文

- 小林源裕、儘田豊、「地盤不均質性に基づく地震動の空間変動の評価に関する検討」、日本地震工学会論文集、第17巻、第2号、pp.38-61、2017.
- 小林源裕、儘田豊、「地震の高域遮断周波数 f_{max} の生成要因に関する基礎的検討」、日本地震工学会論文集、第18巻、第4号、pp.1-24、2018.
- 小林源裕、儘田豊、「地震の高域遮断周波数 f_{max} の生成要因に関する基礎的検討（その2）—観測サイトの基盤特性と伝播経路特性を考慮した震源スペクトルの推定—」、日本地震工学会論文集、第18巻、第4号、pp.100-121、2019.

➤ 学会発表

- 内田淳一、儘田豊、田島礼子、「活断層の連動破壊シナリオの設定が確率論的地震ハザード解析に与える影響の検討」、日本活断層学会2017年度秋季学術大会 広島大学、平成29年11月
- 内田淳一、儘田豊、田島礼子、「PSHAで考慮する断層活動シナリオの重み付けに与える事前情報の影響」、日本活断層学会2018年度秋季学術大会 鳥取市、平成30年11月
- 内田淳一、佐津川貴子、戸澤茉莉花、「反射法地震探査からみた布田川断層帯北東延長域の地下構造」、日本活断層学会2019年度秋季学術大会 東京大学、2019年10月.

➤ 国際会議等の発表

- Wu C., “Uncertainty analysis relevant to the fault rupture modeling method”, The Second IAEA Workshop on Best Practices in Physics-based Fault Rupture Models for Seismic Hazard Assessment of Nuclear Installations (2nd Workshop on Best PSHANI), Cadarache, France, 2018.

6. 成果目標に対する達成状況

(1) 断層モデルを用いた地震動評価手法の整備

下記のとおり、平成29年度から令和元年度までの実施期間の目的を全て達成した。

- 内陸地殻内地震を対象とした地震動再現解析等を実施することにより、震源断層パラメータの既往経験式との整合性やばらつき分布に関する知見を蓄積した。特に、断層が地表に現れた地震に対して、表層の断層破壊の考慮により、断層極近傍の永久変位を含めた地震動の再現性を確認するとともに、震源断層パラメータの不確かさのモデル化を検討し、地震動評価への影響度を把握した。
- 熊本地震で明瞭な地表地震断層の現れた布田川断層帯の北東延長域である阿蘇カルデラ内部において、地質学・地球物理学的調査を実施した結果、地震動解析等で得た震源断層長と同程度の断層長を推定できた。
- 国外で起きたプレート間巨大地震や海洋プレート内地震の震源特性に関する知見を得るために、強震動再現解析を行い、それぞれの地震タイプにおける断層モデル法の適用性を確認した。

(2) 震源を特定せず策定する地震動に関する検討：対象地震による地震動観測記録を用いた地震基盤相当面における非超過確率別応答スペクトルを求め、全国共通に考慮すべき「震源を特定せず策定する地震動」の標準応答スペクトルを設定しており、本項目の目的を全て達成した。

(3) 確率論的地震ハザード評価手法の整備：特性化震源モデルのパラメータのうち、地震動に与える影響が大きいパラメータを選定し、それらにばらつきを与えた断層モデルを構築し地震動解析を行い、確率論的地震動評価の影響度を把握した。また、現実的入力地震動の評価手法を検討するため、地震動観測記録に基づき、地盤の伝播特性に係る応答係数の分析を行い、応答係数の平均値及びばらつきに関する技術的な知見を得ており、本項目の目的を全て達成した。

(4) 断層変位評価手法の検討：決定論的断層変位評価手法に関しては、衛星観測データの活用及びトレンチ調査の実施により、主断層トレスから離れた副断層の形状を把握するとともに、確率論的手法に関しては、最新データを用いて副断層変位評価式を更新し、断層変位ハザードに係る知見を得ており、本項目の目的を全て達成した。

7. 今後の展開

(1) 断層モデルを用いた地震動評価手法の整備

これまで、国内の内陸地殻内地震を対象に地震動再現解析等により、特性化震源モデル及びパラメータの不確かさに関する知見を蓄積してきた。ただし、震源近傍の地震動記録は限られているため、特に2016年熊本地震のように地表に断層が現れた内陸地殻内地震による地震動をより高精度に評価するため、令和2年度以降の新規プロジェクトにおいて、海外の地震を含む更なる検討を予定している。

(2) 震源を特定せず策定する地震動に関する検討

全国共通に考慮すべき「震源を特定せず策定する地震動」の標準応答スペクトルに係る検討に関して、「震源を特定せず策定する地震動に関する検討チーム」において、「収集可能な地震・記録数」、「はぎとり解析の精度」、「応答スペクトルの補正（震源距離、地盤物性）」及び「妥当性の確認に用いる距離減衰式」について、新たな観測記録や知見の蓄積及び技術の高度化を行っていくことが中長期的な将来の課題として整理されており、これらの課題について新規プロジェクトにて検討する予定である。

(3) 確率論的地震ハザード評価手法の整備

本プロジェクトは、断層モデル法に基づいた確率論的地震ハザード評価について検討を行い、震源断層パラメータの不確かさによる影響を把握した。新規プロジェクトでは、断層モデル法によるハザード評価結果の妥当性を確認するため、観測地震動から単一サイトの標準偏差に関する検討を予定している。また、確率論的地震動ハザード評価に必要な地震発生モデル化に関して、日本の活断層を対象に海外の手法等を適用し、固有地震の地震規模及び発生頻度の不確かさについて検討する。

(4) 断層変位評価手法の検討

これまで、副断層変位に着目し、決定論的及び確率的断層変位の評価について検討を行った。ただし、副断層変位に関する情報が乏しいため、新規プロジェクトでは、引き続き、本研究で検討したトレンチ調査や断層破碎帯の物性調査を行うほか、室内模型実験を活用した数値解析の検討を予定している。